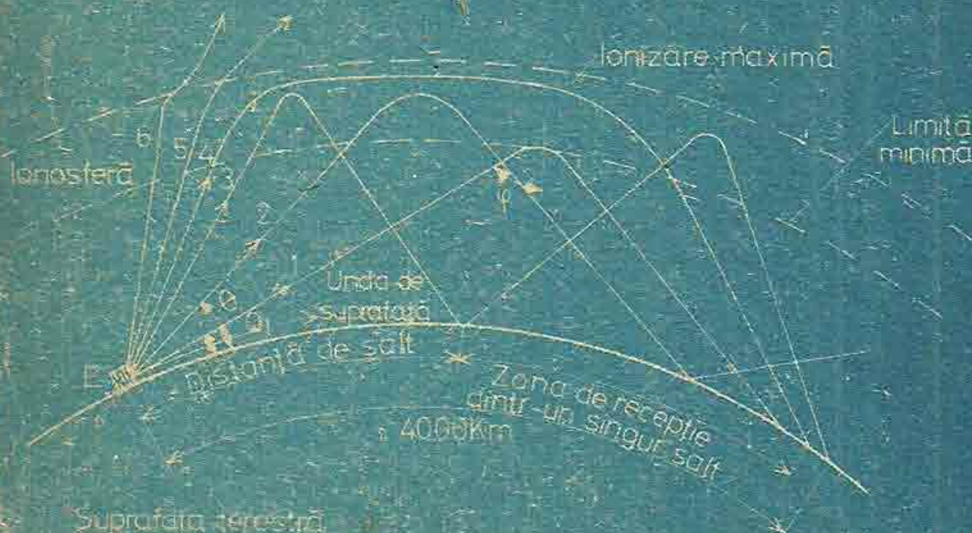
Radu Ianculescu

Manualul radioamatorului începător

SERIA PRACTICĂ

AUTOMATICĂ ELECTRONICĂ INFORMATICĂ MANAGEMENT



Seria PRACTICĂ

BIBLIOTECA DE AUTOMATICĂ-INFORMATICĂ-ELECTRONICĂ-MANAGEMENT

S. Radu, D. Filoti: Centrale telefonice automate
M. Bodea ş.a.: Tranzistoare cu efect de cîmp
D. N. Sapiro: Proiectarea radioreceptoarelor
V. Antonescu, M. Popovici: Ghid pentru controlul statistic al calităţii
V. Baltac ş.a.: Calculatorul FELIX C-256. Structură şi programare
G. Sonea, Sileţchi M.: Creşterea planificată a productivităţii muncii
R.L. Moriss: Proiectarea cu circuite integrate TTL
A. Brilliantov: Calculul şi construcţia televizoarelor portabile
Kaoru Ishikawa: Controlul de calitate pentru maiştri şi şefi de echipe
Magnus Radke: 222 măsuri pentru reducerea costurilor
I. Stăncioiu: Eficienţa economică a asimilării de utilaje noi
G. Lajtha: Proiectarea reţelelor de telecomunicaţii
Vătăşescu, A. ş.a.: Dispozitive semiconductoare. Manual practic
Ch. Jones: Design. Metode şi aplicaţii
E. S. Buffa: Conducerea modernă a producţiei, vol. I şi II
D. W. Davies, ş.a.: Reţele de interconectarea calculatoarelor
Gh. Baştiurea ş.a.: Comanda numerică a maşinilor-unelte
L. W. Crum: Analiza valorii
P. Foiaş: Automatica şi informatica în procesele editorial-poligrafice
P. Vezeanu, Şt. Pătraşcu: Măsurarea temperaturii în tehnică
T. Penescu, V. Petrescu: Măsurarea presiunii în tehnică
P. Popescu, P. Mihordea: Măsurarea debitului de tehnică
P. Vezeanu: Măsurarea nivelului în tehnică
A. Nadolo: Măsurarea volumului şi cantităţii lichidelor în industrie
C. Hidoş, P. Isac (coordonatori): Studiul muncii, I—VIII
C. Hidoş: Analiza şi proiectarea circuitelor informaţionale
Gh. I. Pisău: Elaborarea şi implementarea sistemelor informatice
P. Constantinescu, ş.a.: Sisteme informatice, modele ale conducerii
V. Penescu, ş.a.: Fişiere, baze şi bănci de date
I. Ceauşu ş.a.: SDV. Organizarea concepţiei, fabricaţiei, gestiunii
S. Brebenel: Practica transferului internaţional de tehnologie
P. Constantinescu ş.a.: Analiză, decizie, control
A. Vătăşescu ş.a.: Circuite integrate liniare. Manual de utilizare, vol. 1, 2, 3
S. Maican: Sisteme numerice cu circuite integrate
I. Ristea ş.a.: Manualul muncitorului electronist
M. Florescu ş.a.: Cibernetică, informatică, automatică în industria chimică
E. Statnic, M. Gănescu: Televizoare cu circuite integrate
T. Geber ş.a.: Echipamente periferice
S. Călin ş.a.: Optimizări în automatizări industriale
M. Simonescu: Proiectarea unitară a circuitelor electronice
C. Cruceru: Tehnica măsurărilor în telecomunicaţii
P. Niţulescu: Electroalimentarea instalaţiilor de telecomunicaţii
R. Răpeanu ş.a.: Circuite integrate analogice. Catalog
T. Rădulescu ş.a.: Centrale telefonice automate
N. Drăgulănescu: Agenda radioelectronistului
V. Baltac, A. Davidoviciu, C. Maşec ş.a.: Sisteme interactive şi limbaje conversaţionale
Th. Borangiu, R. Dobrescu: Structuri moderne de conducere automată a maşinilor unelte
A. Petrescu ş.a.: Microcalculatoarele FELIX M18, M18B, M118, vol. I şi II
D. Stanomir: Sisteme electroacustice
N. Iosif ş.a.: Tiristoare şi module de putere. Catalog
S. Călin, I. Dumitrache ş.a.: Reglarea numerică a proceselor tehnologice
G. Ionescu ş.a.: Traductoare pentru automatizări industriale
D. Boboc ş.a.: Cartea operatorului de la tablourile de automatizare
A. Millea: Cartea metrologului
M. Voicu: Tehnici de analiză a stabilităţii sistemelor automate
A. Stănescu ş.a.: Sisteme de automatizare pneumatice
H. M. Moţit, A. Ciocîrlea-Vasilescu: Debitmetrie industrială
N. Tertişco, P. Stoica, Th. Popescu: Identificarea asistată de calculator a sistemelor

Ing. RADU IANCULESCU

Manualul radioamatorului începător



Editura Tehnică
București — 1989

Recenzent : ing. Tudor Tănăsescu
Redactor : ing. Smaranda Dimitriu
Tehnoredactor : Gheorghe Dumitru
Coperta : Simona Dumitrescu
Execuția desenelor : Viorica Iftimie

Bun de tipar : 16.05.89. Coli de tipar : 17
C.Z. 621.396:03
ISBN 973-31-0041-2



Tiparul executat sub
comanda nr. 90 092 la
Combinatul Poligrafic
„Casa Scînteii"
Piața Scînteii nr. 1

CUVÎNT ÎNAINTE

A prefaţa acest nou manual pentru radioamatori este pentru mine o plăcută datorie, fiind convins că publicînd această carte Editura Tehnică vine în întîmpinarea necesităţii apariţiei unui manual accesibil, închegat, destinat formării cunoştinţelor de radiotehnică ale tinerilor dornici să devină radioamatori.

Spre deosebire de alte manuale nu veţi găsi aici descrierea unor scheme practice. Fără a utiliza un aparat matematic complicat, autorul face o introducere în radiotehnică pornind de la componentele pasive, trece apoi la descrierea circuitelor de bază şi ajunge în final la descrierea funcţionării etajelor radioemiţătoarelor precum şi a radioreceptoarelor. Atrag atenţie asupra capitolului despre radiocomunicaţii unde sînt prezentate procedeele de modulaţie, de multe ori evitate în cărţile pentru radioamatori. De asemenea capitolele despre detecţie, oscilatoare, sinteza de frecvenţe.

Deşi cartea se adresează începătorilor, chiar şi radioamatorii mai avansaţi vor afla multe, de pildă din capitolul despre propagare, într-adevăr subiectul cel mai fascinant, dar şi cel mai greu de înţeles din radiotehnică.

Testele de la sfîrşitul fiecărui capitol îl vor ajuta pe cititor să-şi verifice singur gradul de înţelegere al materialului citit şi, îi va fi folositor în vederea pregătirii pentru examenul de radioamator.

Pentru cei care, dorind să devină radioamatori, îşi încep studiul cu această carte, adaug că odată ajunşi la capătul ultimului capitol trebuie să ştie că „înainte mult mai este".

MULT SUCCES!

15 mai 1989 — Ing. TUDOR TĂNĂSESCU

Bucureşti

Cuprins

Introducere

Radioamatorismul este o activitate care presupune inteligență, cunoștințe teoretice, calități competițional sportive și mai ales pasiune. Este un hoby, dar în același timp și un sport care nu are limită de vîrstă pentru adepții săi. Radioamatorii sînt răspîndiți în toată lumea și nu există țară fără prefix astfel încît nu se poate vorbi de nici un moment de pauză în eter chiar dacă nicăieri nu a fost inițiat nici un concurs.

Radioamatorismul cultivă prietenia dintre oameni fără a ține seama de distanță, de limbă, concepții religioase sau politice, de vîrstă sau sex. De multe ori radioamatorii și-au manifestat spiritul de solidaritate umană, contribuind la salvarea de vieți omenești, pornind numai de la faptul că cineva a ascultat în bandă un apel de ajutor.

Pentru a comunica între ei în telefonie sau telegrafie, radioamatorii își construiesc de cele mai multe ori singuri întreaga aparatură de emisie-recepție, experimentează mereu alte soluții și nimeni nu poate nega că o parte din progresul radiocomunicațiilor se datorează acestor entuziaști. Traficul radiocomunicațiilor se desfășoară pe anumite frecvențe special alocate în domeniile de unde scurte ultrascurte și microunde.

Pentru ca un radioamotor să-și poată construi și pune în funcțiune echipamentul de emisie-recepție este necesar ca mai întîi să dețină certificatul de radioamator și autorizația corespunzătoare uneia dintre cele șase clase de radioamatori. El trebuie să dovedească printr-un examen că posedă nu numai cunoștințe de legislație ci și un anume bagaj de cunoștințe de electrotehnică și radiotehnică. Activitatea radioamatorilor din R.S. România se află sub controlul Ministerului Transporturilor și Telecomunicațiilor și al Federației române de radioamatorism, iar examenele sînt organizate de Direcțiile de Radio și Televiziune din București, Cluj, Iași și Timișoara.

Volumul de cunoștințe este destul de mare și dacă nu există o pregătire de specialitate, trebuie să dedicăm aproximativ un an de zile studiului individual sau frecventării cursurilor organizate de cel mai apropiat radioclub.

Manualul de față este conceput tocmai pentru a veni în ajutor celor care doresc să devină radioamatori sau cel puțin se simt atrași de radiotehnică.

Dacă ați optat pentru studiul individual, vă sfătuim să învățați cel puțin un capitol pe săptămînă. Nu vă limitați la o simplă trecere peste text, citiți cu creionul în mînă, subliniați, reluați și apoi încercați să răspundeți la întrebările de la sfîrșitul capitolelor și să rezolvați problemele. Dacă întîmpinați greutăți, reluați pasajele dificile și nu treceți mai departe pînă nu ați răspuns mulțumitor la întrebări. Nu vă sfiiți să apelați la ajutorul unui radioamator cu experiență. Pentru el va fi o îndatorire plăcută să vă ajute, fiind îndemnat și de spiritul de radioamator.

Dar pînă atunci... cîteva spicuiri din Regulamentul de radiocomunicații.

Vom sublinia din nou că radioamatorii activează animați numai de pasiunea lor tehnică fără a urmări scopuri comerciale, iar autorizația de radioamator

nu dă dreptul la prestare de reparații de aparate de radio sau de televiziune. Putem activa ca radioamatori, dar nu putem folosi aparatura de emisie-recepție întocmai ca un radiotelefon pentru a comunica vești celor de acasă.

Radioamatorismul este o ocupație căreia îi dedicăm timpul liber și va trebui să nu ne stînjenească de la principalele îndatoriri (învățătură, sarcini de serviciu etc). Radioamatorii autorizați utilizează adeseori aparate de construcție proprie care se încadrează în normele tehnice impuse de Regulament și participă la traficul radio.

În funcție de puterile emițătoarelor, de clasele de emisie și de benzile de frecvențe alocate, stațiile de emisie ale radioamatorilor se împart în șase clase (vezi anexa) pentru care se eliberează autorizații.

La rîndul lor, radioamatorii pot obține în urma examenului certificatul de radioamator începător sau avansat. După stagiul obligatoriu de radioamator receptor, radioamatorul începător poate fi autorizat să lucreze cu instalațiile de emisie-recepție de clasa a III-a (unde scurte) sau clasa a V-a (unde ultrascurte). Clasa a IV-a este rezervată școlarilor între 10 și 14 ani. Radioamatorilor avansați le sînt destinate clasele de emisie a IV-a, a II-a și I-a. Trecerea la aceste clase se face după un stagiu îndelungat în trafic, după îndeplinirea unui anumit număr minim de legături bilaterale. Veți înțelege de ce este atît de stimat un radioamator de clasa a I-a, numai știind că o condiție pentru primirea autorizației este și realizarea a minim de 3000 legături bilaterale de la data primirii autorizației de clasa a II-a, dintre care cel puțin jumătate în radiotelegrafie.

Tipurile de radiocomunicații

În principal radioamatorii comunică în două moduri: radiotelefonie și radiotelegrafie. Pentru telefonia pe unde scurte se utilizează aproape în exclusivitate modulația în amplitudine cu bandă laterală unică și purtătoare suprimată — BLU (în limbaj curent SSB — single side band). Aceste emisiuni nu pot fi recepționate cu un radioreceptor obișnuit și de aceea sînt necesare dispozitive speciale precum și un oscilator BFO sau un detector de produs. Același oscilator poate face audibile și semnalele telegrafice (CW — continuos Wave).

În benzile de unde ultrascurte se folosește și modulația în frecvență care permite recepția semnalelor neafectate de paraziți. În afara radiotelefonici (SSB) și a radiotelegrafiei (CW) radioamatorii mai comunică în telegrafie automată (RTTY), pot face recepția transmisiunilor de televiziune cu baleiaj lent (SSTV), iar în benzile de 10 m și 2 m pot efectua legături intercontinentale prin sateliți de telecomunicații special destinați.

Radioamatori receptori!

Pînă la obținerea certificatului de radioamator începător și a autorizației de emisie trebuie să vă obișnuiți cu traficul, ascultînd în bandă chiar în perioada asimilării materiei pentru examen. Este suficient un radioreceptor de unde scurte modificat pentru recepția semnalelor SSB. Încă de acum veți învăța pe dinafară benzile de frecvențe, alocate radioamatorilor de la 1815 kHz pînă la 440 MHz.

În sfîrșit, trebuie să vă mai gîndiți dacă aveți posibilitatea de a instala o antenă. Pentru lucrul în banda de unde ultrascurte este de ajuns o antenă asemănătoare antenelor de televiziune. Dar pentru benzile de unde scurte este nevoie de loc pentru a instala antene filare lungi sau pentru o antenă rotativă pe o rază de aproximativ 5 m.

După cum se observă sînt destule probleme la care trebuie să reflectați.

Capitolul 1

Structura materiei

Pentru a putea explica legile curentului electric trebuie să ne reamintim cîteva noțiuni de structură a materiei învățate în școală.

1.1. Structura atomului

Încă cu 100 de ani în urmă se mai credea că atomul este cea mai mică particulă a materiei dar și acesta este compus din particule mult mai mici.

După cum se poate observa schematic din fig.1.1. atomul este format din electroni și nucleu. La rîndul său nucleul este constituit din protoni și neutroni. Fiecărui electron îi corespunde un proton de care este legat. Neutronii au o comportare neutră. Aceasta este o reprezentare simplistă a atomului și s-a căutat în decursul anilor să se imagineze modele pentru structura atomului cît mai apropiate de realitate. Totuși cel mai intuitiv model rămîne modelul atomic al lui Bohr. Atomul este imaginat ca un sistem solar. Electronii se rotesc pe orbite concentrice în jurul nucleului. Pe fiecare orbită se află doi sau mai mulți electroni. Orbita cea mai apropiată de nucleu poate avea doi electroni, următoarea maximum opt electroni, a treia optsprezece electroni etc. Pe ultima orbită nu pot fi mai mult de opt electroni. Aceștia se numesc electroni de valență și determină proprietățile chimice ale unui element. Un atom cu opt electroni de valență este neutru din punct de vedere chimic. Un asemenea atom prezintă interes și din punct de vedere al electrotehnicii. În metale atomii formează o rețea spațială, iar electronii acestei

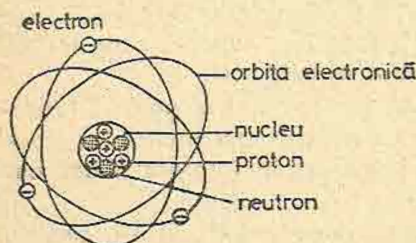
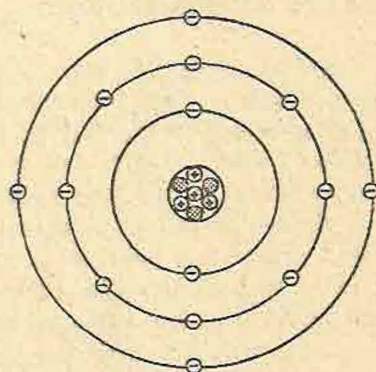


Fig. 1.1. Structura atomului


Fig. 1.2. Modelul atomic al lui Bohr

rețele nu sînt în totalitate legați de protoni și o mare parte se mișcă liber. Substanțele în a căror structură cristalină se află un număr mare de electroni liberi fac parte din categoria metalelor și sînt bune conducătoare de electricitate. Există materiale care dispun de foarte puțini electroni liberi și acestea se numesc materiale izolante. Cu toate acestea unele materiale au un număr mic de electroni liberi care în anumite condiții pot determina o comportare ciudată. Despre toate acestea vom afla în capitolul „Materiale semiconductoare".

1.2. Sarcina electrică

Încă din antichitate grecii au observat că prin frecarea unui bastonaș de chihlimbar (electron în limba greacă), se obține un fenomen ciudat. Bastonașul atrage obiectele ușoare dinprejur. Se spune că acestea au fost atrase de forțe electrice și chihlimbarul este încărcat cu electricitate. Electronii și protonii unui atom sînt legați prin forțe electrice. Ei au sarcini electrice contrare și se consideră că electronii au sarcină electrică negativă, iar protonii — sarcină electrică pozitivă. În mod normal atomii sînt neutri deoarece sarcina negativă a electronilor anulează sarcina pozitivă a protonilor. Atunci cînd un atom pierde electroni, el devine pozitiv. Dacă se apropie de un astfel de atom un altul, între ei vor apare forțe electrice. Trebuie să știm că sarcinile electrice asemănătoare se resping, iar cele contrare se atrag.

În fizică fiecare mărime are un simbol: lungimea — l, forța — F, puterea — P etc. Sarcina electrică are simbolul Q. Cum fiecare mărime are și o unitate de măsură, pentru sarcina electrică se folosește coulombul notat C.

Cea mai mică sarcină electrică, sarcina elementară, este electronul, încărcat negativ. Protonul este contrarul său pozitiv.

Sarcina de 1 coulomb corespunde unui număr de 6,25 trilioane de electroni, notat matematic cu numărul $6{,}25 \times 10^{18}$.

1.3. Tensiunea electrică

De acum știm că într-un atom electronii au sarcină electrică negativă, iar protonii sarcină pozitivă. Dar aceste sarcini sînt echilibrate în așa fel încît la exterior atomul este neutru din punct de vedere electric. Dacă acest echilibru este deranjat într-un fel sau altul, sarcinile electrice care nu au corespondent au tendință să se atragă pentru a se echilibra.

Separarea sarcinilor electrice se realizează printr-un transport de energie — prin reacții chimice în acumulatoare, prin inducție magnetică în generatoare, prin încălzire în termocupluri, prin iluminare în fotocelule. Am numit astfel și cîteva surse de energie electrică.

La o astfel de sursă distingem un pol negativ care manifestă un surplus de electroni, și un pol pozitiv care manifestă un deficit de electroni.

Între cei doi poli ai sursei se află o diferență de potențial datorită diferenței de sarcină electrică. Această diferență de potențial este numită *tensiune electrică*.

În circuitele electrice legate la o sursă electrică există un punct de potențial nul care de obicei este legat la pămînt, care se numește punct de masă. Față de acest punct de masă se măsoară diferențele de potențial (tensiuni) ale punctelor din circuit.

Tensiunea electrică se măsoară în Volți, unitate de măsură care are următorii multipli și submultipli:

$$1 \text{ kilovolt} = 1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 1\,000 \text{ V}$$

$$1 \text{ milivolt} = 1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V} = \frac{1}{1\,000} \text{ V}$$

$$1 \text{ microvolt} = 1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V} = \frac{1}{1\,000\,000} \text{ V}$$

Aparatul cu care se măsoară tensiunea este voltmetrul. De fiecare dată cînd măsurăm tensiunea vom fi atenți să așezăm conductorul care leagă borna pozitivă a voltmetrului la plusul sursei, iar cel care leagă borna negativă, la minusul sursei.

Oricine cunoaște acei cilindri numiți impropriu baterii electrice, folosite pentru alimentarea cu energie electrică a radioreceptoarelor tranzistorizate sau a lanternelor. Este vorba de fapt de monocelule care se leagă de obicei în serie pentru a se obține o tensiune mai mare. Aceasta înseamnă că polul negativ al primei celule se leagă la polul pozitiv al celulei următoare și așa mai departe. Valorile tensiunilor se adună și la bornele extreme se măsoară tensiunea sumă.

În încheiere trebuie să mai arătăm că în practică se întîlnesc tensiuni joase și tensiuni înalte. În antenele de recepție se captează tensiuni foarte mici, de ordinul microvolților adică milionimi de volt, dar etajele finale ale emițătoarelor lucrează cu tensiuni de mii de volți.

Vom reține că tensiunile peste 50 V sînt periculoase pentru viața omului și de aceea se iau măsuri speciale de protecție.

Probleme

1. Cîți Volți reprezintă: 2,5 kV; 7 mV; 5 mV?
2. Cîți milivolți reprezintă: 0,0027 V; 0,4 V?
3. Cîte celule de 2 V sînt necesare pentru realizarea unei baterii de 24 V?

Capitolul 2

Curentul electric

În capitolul precedent a fost subliniată însemnătatea electronilor de valență în procesele electrice. Am reținut că sarcinile electrice sînt forțele care acționează între diferitele părți componente ale atomilor și în sfîrșit am cunoscut unitatea de măsură pentru sarcina electrică, coulombul, echivalent cu sarcina a $6{,}25 \times 10^{18}$ electroni.

În continuare, am prezentat o sursă de tensiune, structura ei, legarea în serie și în paralel a mai multor surse de tensiune.

În acest capitol vom discuta despre curentul electric. Dacă la o sursă de tensiune se leagă un consumator între cei doi poli, apare un transport de sarcini electrice care se numește curent electric. Curentul electric este mișcarea ordonată a purtătorilor de sarcină.

În interiorul sursei de tensiune sarcinile electrice se deplasează de la polul pozitiv la polul negativ, fig.2.1. Și acest transport de sarcini este un curent electric. În afara sursei de tensiune electronii circulă prin conductorii electrici de la minus la plus și astfel circuitul se închide. Curentul electric circulă numai dacă sursa de tensiune este legată la un circuit închis. Desigur dacă numai un singur pol este legat la un circuit, prin acel circuit nu circulă nici un curent electric.

Curentul electric nu poate fi pus în evidență în mod direct. Existența lui se constată prin efectele sale. Astfel sînt: efectul caloric (utilizat, de exemplu, la caloriferul electric), efectul de incandescență (utilizat la becurile electrice), efectul magnetic (utilizat, de exemplu, la electromagneți), efectul chimic (utilizat la acoperiri galvanice, precum nichelarea) și efectul fiziologic (acțiunea neplăcută a curentului electric asupra organismului).

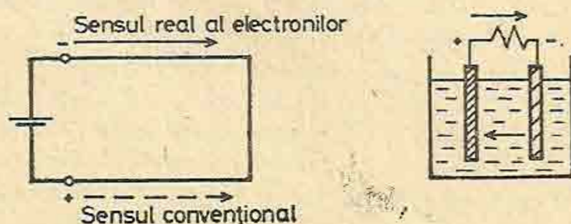


Fig. 2.1. Sensul curentului electric pentru o sursă de tensiune

2.1. Intensitatea curentului

Pentru intensitatea curentului electric s-a ales simbolul I. Unitatea de măsură a intensității curentului electric este Amperul (A). Această denumire a fost dată în onoarea fizicianului francez Andre Ampère (1775—1836), unul dintre primii cercetători ai fenomenelor electrice. Curentul electric cu intensitatea de 1 A pune în mișcare $6{,}25 \times 10^{18}$ electroni care trec printr-o secțiune transversală într-o secundă. Deoarece nu se poate număra cantitatea de electroni, aceasta a fost stabilită indirect. Un curent are intensitatea de 1 A dacă la trecerea sa printr-o soluție de nitrat de argint se depune într-o secundă 1,118 mg de argint. În domeniul telecomunicațiilor, deci și în radiotehnică se folosesc submultiplii amperului și anume:

$$1 \text{ miliamper} = 1\text{mA} = \frac{1}{1\,000}\text{A} = 10^{-3}\text{ A}$$

$$1 \text{ microamper} = 1\mu\text{A} = \frac{1}{1\,000\,000}\text{A} = 10^{-6}\text{ A}$$

Măsurarea curentului electric se face cu ampermetrul. Acesta determină numărul de purtători de sarcină care trec în unitatea de timp printr-un conductor. Pentru aceasta curentul trebuie să circule direct prin aparatul de măsură. Prin urmare ampermetrul se montează în circuit, în oricare loc înainte sau după consumator deoarece peste tot se va măsura aceeași intensitate a curentului.

Pe cînd nu se cunoșteau prea multe despre procesele ce au loc în conductori și în sursele de tensiune, s-a convenit că sensul curentului electric este de la plus la minus. Acest sens este contrar direcției de mișcare a electronilor și acum este numit sensul convențional al curentului. Sensul de mișcare a electronilor este numit sensul real al curentului electric. Deci vom reține că în circuitul exterior al unei surse de tensiune, sensul *convențional* este de la *plus* la *minus*, iar sensul de mișcare al electronilor de la *minus* la *plus*.

Trebuie știut că nu numai metalele sînt bune conducătoare de electricitate. La acestea se adaugă lichidele și gazele care în anumite condiții devin bune conducătoare de electricitate. Dacă în metale ionii pozitivi (atomii fără electroni de valență) ocupă un loc bine determinat în rețeaua spațială a materialului, și numai electronii formează curentul electric, în lichide și în gaze procesul este cu totul diferit. Ionii pozitivi capătă o mișcare ordonată, orientîndu-se spre polul negativ. Deci deosebirea esențială constă în faptul că în conductorii metalici apare numai un curent format din electroni pe cînd în lichide și gaze curentul este format din ioni.

2.2. Relații

Pînă acum cunoaștem trei mărimi electrice și unitățile lor de măsură: cantitatea de electricitate Q și Coulombul, tensiunea electrică U și Voltul și intensitatea curentului electric I cu unitatea sa de măsură Amperul. Vom examina relația care există între cantitatea de electricitate Q și intensitatea curentului I. Pornind de la definiția intensității curentului, rezultă că intensitatea

I este cantitatea de electricitate care trece într-o unitate de timp printr-un circuit. Se ajunge la relația: $I = \frac{Q}{t}$.

Dacă înlocuim cu unitățile de măsură, obținem:

$$1\ A = \frac{1\ C}{1\ s} = \frac{6{,}25 \times 10^{18}\ \text{sarcini elementare}}{1\ \text{secundă}}$$

Din această egalitate rezultă: $Q = I \cdot t$

În unități de măsură, avem:

$$1\ \text{coulomb} = 1\ \text{amper} \times 1\ \text{secundă sau}$$

$$1\ C = 1\ A \times 1\ s = 1\ A \cdot s$$

Prin urmare un Coulomb este un amper secundă. Această formulă se poate folosi la calculul capacității unei baterii de acumulatori, cînd putem afla curentul care poate fi dat de un acumulator pentru o perioadă de timp. Ați auzit desigur de acumulatori de 70 A · ora (Ah) *Exemplu:* cît timp va funcționa un acumulator care furnizează un curent de 2 A?

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{70\ Ah}{2\ A} = 35\ h$$

Deci acumulatorul va funcționa 35 de ore.

Desigur ne întrebăm cu ce viteză se deplasează electronii printr-un conductor. Știm din proprie experiență că un bec electric se aprinde imediat după ce acționăm comutatorul, sau un corespondent de la sute de kilometri răspunde imediat după ce am făcut apelul telefonic. Impulsurile electrice se propagă cu o viteză aproape egală cu viteza luminii. Dar viteza electronilor este totuși mică. Pentru un curent de 1 A electronii se mișcă în linie dreaptă cu o viteză de aproximativ 10 mm/s. În cazul curentului electric fenomenul este oarecum asemănător unui șir de bile. Dacă într-un capăt o bilă primește un impuls, acesta se propagă foarte repede pînă la ultima bilă cu toate că fiecare bilă s-a mișcat foarte puțin. Această explicație este cît se poate de simplistă, dar o interpretare riguros științifică presupune cunoștințe foarte aprofundate de teorie a cîmpului electromagnetic.

2.3. Sisteme de unități

Pentru a explica fenomenele dintr-un anumit domeniu al fizicii este nevoie de un sistem de mărimi fizice primitive și legi. De-a lungul timpului au fost create mai multe sisteme de unități alese în așa fel încît relațiile dintre ele să fie cît mai simple și mai simetrice. La cea de-a 11-a Conferință generală de Măsuri și Greutăți care a avut loc în anul 1960 a fost adoptat Sistemul Internațional de unități notat prescurtat SI. Țara noastră a aderat la acest sistem în 1961, considerîndu-l singurul sistem de unități de măsură legal și obligatoriu. Unitățile fundamentale sînt desemnate în așa fel încît relațiile dintre ele presupun existența exclusivă a factorului 1.

Sistemul internațional este bazat pe următoarele unități: metrul (*m*) pentru lungime, kilogramul (kg) pentru masă, secunda (s) pentru timp, amperul (A) pentru intensitatea curentului, gradul Kelvin (°K) pentru temperatură, și candela (cd) pentru intensitatea luminoasă. Prescurtat acest sistem se mai notează și cu MKSAKC. Toate celelalte unități sînt derivate din acestea.

În încheiere prezentăm un tabel cu mărimi și unități.

Sistemul internațional de mărimi și unități (SI)

Tabelul 2.1

Mărimea	Simbolul	Unitatea	Simbol	Relații
Lungimea	l	metru	m	Unitate fundamentală
Masă	m	kilogram	kg	Unitate fundamentală
Timpul	t	secundă	s	Unitate fundamentală
Intensitatea curentului electric	I	amper	A	Unitate fundamentală
Temperatura	T	kelvin	K	Unitate fundamentală
Cantitatea de substanță		mol	mol	Unitate fundamentală
		Unități derivate		
aria	A	metru pătrat	m^2	
volumul	V	metru cub	m^3	
frecvența	f	hertz	Hz	1 Hz = 1/s
densitatea		kilogram pe metru cub	kg/m^3	
viteza	v	metru pe secundă	m/s	
viteză unghiulară	ω	radian pe secundă	rad/s	
accelerația	a	metru pe secundă la pătrat	m/s^2	
accelerația unghiulară		radian pe secundă la pătrat	rad/s^2	
Forța	F	newton	N = ma	$kg\ m/s^2$
presiunea	p	pascal	Pa	N/m^2
energia, lucrul mecanic, căldura	W	Joule	J	N m
puterea	P	watt	W	J/s
sarcina electrică	Q	coulomb	C	1V 1A 1A 1s
tensiunea	U	volt	V	W/A
intensitatea cîmpului electric	E	volt pe metru	V/m	
rezistența electrică	R	ohm	Ω	V/A
capacitatea	C	farad	F	A s/V
fluxul magnetic	Φ	weber	Wb	Vs
inductanța	L	henry	H	Vs/A
inducția magnetică	B	tesla	T	Wb/m^2
intensitatea cîmpului magnetic	H	amper pe metru	A/m	
tensiunea magnetomotoare		amper	A	
fluxul luminos		lumen	lm	cd.sr
strălucirea		candela pe metru pătrat	cd/m^2	

Capitolul 3

Curentul alternativ

Pe lîngă noțiunile elementare ale electrotehnicii prezentate pînă acum cum sînt structura atomului, sarcina electrică, tensiunea electrică, curentul electric se mai adaugă curentul și tensiunea alternativă, legea lui Ohm, puterea electrică, energia. Vor urma apoi componentele principale și schemele de bază ale electrotehnicii, apoi ale electronicii, pentru ca apoi această inițiere să se încheie cu prezentarea radioreceptoarelor, emițătoarelor și antenelor.

3.1. Curentul alternativ

Curentul electric din lecțiile precedent era considerat ca o mișcare a purtătorilor de sarcină într-o direcție mereu aceeași. Acest curent se numește curent continuu. Dacă direcția de mișcare a purtătorilor de sarcină se schimbă periodic, vorbim despre curent alternativ sau de tensiune alternativă.

3.2. Curentul alternativ tehnic

Curentul alternativ tehnic cunoscut din viața de toate zilele are o variație sinusoidală și își schimbă sensul de 50 ori pe secundă. Dar și curenții de înaltă frecvență care sînt produși de emițătorii radio au o formă în general sinusoidală.

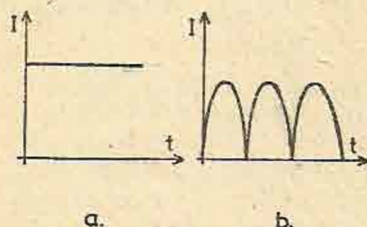


Figura 3.1. Aspecte ale curentului continuu: *a)* curent continuu; *b)* curent pulsatoriu;

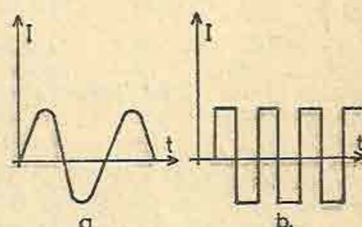


Figura 3.2. Aspecte ale curentului alternativ: *a)* curent alternativ sinusoidal; *b)* curent alternativ rectangular.

3.3. Unitățile de măsură

Mărimile alternative se notează cu litere mici. Deci tensiunea alternativă se notează cu u și curentul alternativ cu i.

Frecvența este numărul de perioade sau cicluri pe secundă și se măsoară în hertzi. (Hz).

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ perioadă/secundă}$$

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}}$$

În țările anglosaxone unitatea de măsură a frecvenței era ciclul/secundă, notat $\frac{c}{s}$, dar unitatea de măsură în sistemul SI este hertzul. Curentul alternativ tehnic cu 50 perioade pe secundă are frecvența de 50 Hz.

Pentru frecvențe mai înalte se folosesc următorii multiplii: 1 kilohertz = $= 1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ Hz}$.

1 Megahertz $= 1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz} = 1\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ kHz}$

1 Gigahertz $= 1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz} = 1\,000\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ MHz}$.

Durata unei perioade se notează cu T și se calculează cu formula $T = \frac{1}{f}$ T în secunde, f în Hz.

Lungimea de undă. Oscilațiile electrice se propagă prin conductori, iar oscilațiile de înaltă frecvență se propagă și în spațiul liber. Dacă se măsoară distanța dintre două puncte de maxim, atunci această dimensiune se numește lungime de undă și se notează λ (lambda). Lungimea de undă se poate calcula, cunoscînd viteza de propagare v și frecvența f:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

În cazul propagării în spațiul liber, viteza de propagare este egală cu viteza luminii $c = 3\,000\,000$ km/s, iar lungimea de undă se calculează cu formula $\lambda = \frac{c}{f}$. Lungimea de undă se poate afla rapid cu ajutorul diagramei din fig. 3.4.

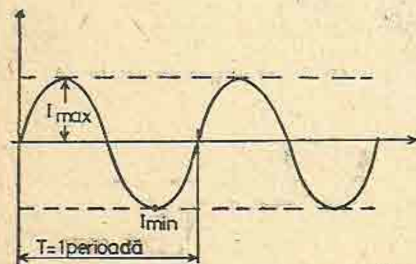


Figura 3.3. Noțiunea de perioadă

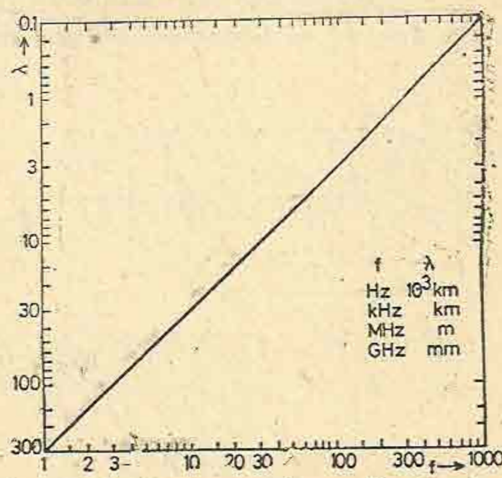


Figura 3.4. Nomograma frecvență — lungime de undă

3.4. Valoare instantanee

Oscilațiile au în fiecare moment o anumită valoare. Această valoare o numim valoare instantanee a tensiunii sau a curentului. Pentru tensiunea alternativă de 220 V vom măsura la momentul $t = 0$ V, la 2,5 milisecunde 220 V, iar după încă 2,5 milisecunde valoarea de vîrf — 311 V, după 10 milisecunde — din nou 0 V, iar după 15 milisecunde — 311 V.

Pentru exercițiu putem da relația de calcul a valorii instantanee în funcție de valoarea maximă a tensiunii alternative.

$$u = U \sin \cdot \left(\frac{t}{T} \cdot 360°\right)$$

$$U = 311 \text{ V la momentul } t = 2{,}5 \text{ ms}$$

$$u = 311 \sin\left(\frac{2{,}5}{20} \cdot 360\right) = 311 \cdot \sin 45 = \frac{311 \cdot \sqrt{2}}{2} = 220 \text{ V}.$$

Faza. Pentru a înțelege această noțiune, trebuie să arătăm cum se produce curentul alternativ. Dacă rotim un cadru mobil într-un cîmp magnetic constant, la bornele cadrului vom măsura o tensiune alternativă. Valoarea maximă a acestei tensiuni se atinge atunci cînd cadrul mobil s-ar roti cu 90° față de verticală.

Fenomenul prin care se produce această tensiune se numește inducție. În funcție de unghiul pe care îl face cadrul cu liniile de forță magnetice, vom avea și valorile tensiunii alternative. Acest unghi se numește unghi de fază. Diferitele componente de circuit electrotehnice, cum ar fi de exemplu bobinele sau condensatorii pot acționa asupra fazei prin întîrziere sau avans.

Frecvența unghiulară. În calcule nu se dau unghiurile cu care se învîrte bobina din rotorul generatorului de curent alternativ: ci numai arcele. Arcele se măsoară în radiani. Un cerc trigonometric are raza considerată 1, iar lungimea cercului este egală cu $2\pi \cdot r = 2\pi \cdot 1 = 2\pi$ radiani.

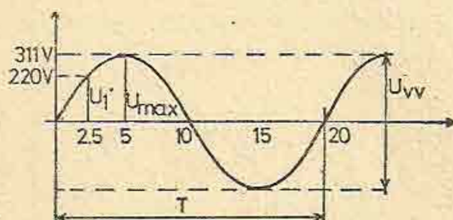
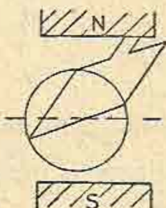


Figura 3.5. Mărimi caracteristice ale tensiunii alternative sinusoidale: T — perioada; U_{vv} — tensiunea de vîrf; U_{max} — tensiunea maximă; U_i — tensiunea instantanee.



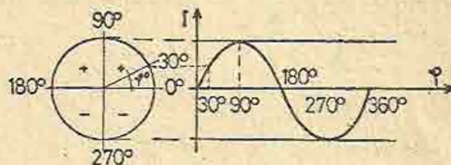


Figura 3.6. Generarea curentului alternativ sinusoidal

Dacă avem f rotații pe secundă, atunci bobina a parcurs un arc ce măsoară $2\pi f$. Această mărime se numește frecvență unghiulară și se notează cu ω (omega).

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

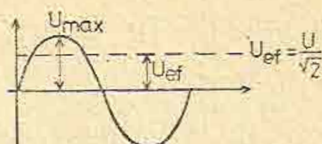


Figura 3.7. Valoarea efectivă

Valoarea efectivă (eficace). Valoarea efectivă este valoarea tensiunii alternative care provoacă același efect caloric într-o rezistență, ca o anumită valoare a tensiunii continue. Ceea ce în mod curent se numește tensiune alternativă de 220 V este valoarea efectivă a tensiunii în rețeaua de curent alternativ și se notează $u_{ef} = 220$ V.

Între valoarea maximă a tensiunii alternative numită și valoare de vîrf și valoarea efectivă există relația:

$$u_{ef} = \frac{u_{max}}{\sqrt{2}}$$

Valoarea efectivă este aproximativ 70% sau mai precis 0,707 din valoarea maximă.

3.5. Valoarea medie.

Dacă vrem să măsurăm tensiunea instantanee cu ajutorul unui instrument de măsură cu cadru mobil, acesta nu va putea urmări oscilațiile sale. Instrumentul face o medie a forțelor care îl acționează și deviația sa este proporțională cu *intensitatea medie* a curentului.

Nu vom da relația matematică ce duce la rezultat, ci vom spune numai că valoarea medie a intensității curentului pe o jumătate de perioadă este suprafața închisă de partea pozitivă a semiperioadei pozitive și se calculează cu $I_m = \frac{2I}{\pi} = 0,36\ I$.

Dacă vom măsura valoarea medie pe întreaga perioadă, aria negativă compensează aria pozitivă și vom obține 0.

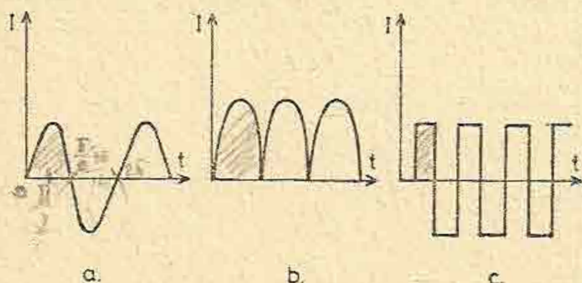


Fig. 3.8. —

Dacă amplitudinea maximă a curentului este $I = 1$ A, atunci valoarea medie pe o jumătate de perioadă este 0,636 A.

În acest capitol am introdus multe noțiuni a căror asimilare nu este tocmai ușoară. Acum va trebui să insistați mai întîi asupra definițiilor și apoi veți încerca să răspundeți la întrebările care urmează.

Întrebări de control

1. Care este deosebirea dintre curentul alternativ și curentul continuu?
2. Ce se înțelege prin frecvență și care este unitatea de măsură a frecvenței?
3. Ce se înțelege prin înaltă frecvență? Dar prin joasă frecvență?
4. Care este relația dintre frecvență și perioadă?
5. Ce este frecvența unghiulară?
6. Ce se înțelege prin valoarea efectivă?
7. După ce ați răspuns la întrebări, le veți compara cu răspunsurile de mai jos:

Răspunsuri

1. Spre deosebire de curentul continuu, în curentul alternativ direcția de mișcare a purtătorilor de sarcină se schimbă periodic.

2. Frecvența unei tensiuni alternative este numărul de perioade (cicluri) sau de oscilații complete pe secundă. Frecvența se măsoară în hertzi.

3. Înalta frecvență numită uneori și radiofrecvență se află în domeniul de frecvențe 150 kHz-GHz. Frecvențele joase se situează în domeniul 0—150 kHz.

4. Relația între perioadă și frecvență este $T = \frac{1}{f}$ sau $f = \frac{1}{T}$.

5. Frecvența unghiulară se calculează cu formula: $\omega = 2\pi f = 6{,}28f$

6. Valoarea efectivă este valoarea tensiunii continue care provoacă un același efect caloric într-o rezistență.

Teste

1. Cu ce literă s-a notat perioada?
2. Cu ce literă a fost notată valoarea efectivă?
3. Cu ce literă a fost notată valoarea instantanee?
4. Care dintre semnalele din fig. 3.8. sînt alternative?
5. În ce domenii de frecvențe se află benzile de radioamatori?
   a. Frecvențe joase
   b. Frecvențe înalte
   c. Frecvență vocală
6. Care este valoarea de vîrf a unei tensiuni alternative de 100 Vef?
   a. 70,7 V
   b. 141,4 V
   c. 220 V
7. Care este lungimea de undă a unei oscilații de 10 MHz?
   a. $\lambda = 1$ km
   b. $\lambda = 30$ m
   c. $\lambda = 10$ m
   d. $\lambda = 100$ m

Răspunsuri

1*T*, 2u_{ef}, 3*u*, 4*a*, 5*b*, 6*b*, 7*b*

Tabelul 3.1

Benzile de frecvență

3—30 kHz	unde miriametrice	VLF very low frequency
30—300 kHz	unde kilometrice	LF low frequency
300—3000 kHz	unde hectometrice (medii)	MF medium frequency
3—30 MHz	unde decametrice	HF high frequency
30—300 MHz	unde metrice	VHF very high frequency
300—3000 MHz	unde decimetrice	UHF ultra high frequency
3—30 GHz	unde centimetrice	SHF super high frequency
30—300 GHz	unde milimetrice	EHF extremely high frequency

Problemă

Calculați lungimile de undă ale limitelor benzilor de frecvență din tabelul 3.1.

Exemplu: $= \frac{300 \text{ m}}{f(\text{MHz})} = \frac{300 \text{ m}}{10 \text{ MHz}} = 30 \text{ m}$

Verificați rezultatele cu nomograma dată.

Capitolul 4

Relații între tensiune și curent

După ce am făcut cunoștință cu noțiunile fundamentale ale electrotehnicii (sarcina electrică, tensiunea și intensitatea curentului) și mărimile caracteristice ale curentului alternativ (frecvența și perioada) vom trece la relațiile între tensiune și curent. Cunoaștem cîteva relații:

$$Q = I \cdot t \qquad 1\ \mathrm{C} = 1\ \mathrm{As}$$

$$f = \frac{1}{T} \qquad 1\ \mathrm{Hz} = \frac{1\ \text{perioadă}}{\mathrm{s}}$$

4.1. Legea lui Ohm

Să facem o experiență. Dacă legăm un bec mai întîi la o baterie și apoi la două baterii legate în serie, vom observa o creștere a intensității luminoase. Aceasta este o dovadă că prin filamentul becului trece un curent mai mare.

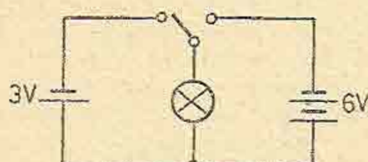


Fig. 4.1. Montaj pentru demonstrarea legăturii dintre tensiune și curent

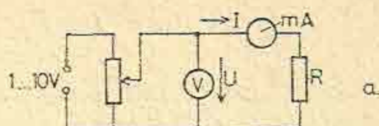
Se spune că materialul din care e construit filamentul becului se opune trecerii curentului electric. Această opoziție se datorește rețelei atomice și electronilor liberi din care este format materialul conductor. Fenomenul este numit rezistență. În general rezistența se notează cu R, iar unitatea de măsură este 1 Ohm, sau 1 Ω.

Unitatea de măsură 1 Ω corespunde rezistenței opusă de un conductor la a cărei capete s-a aplicat o tensiune de 1 V și prin care circulă un curent de 1 A. Definiția metrologică este:

1 Ohm este rezistența prezentată de un fir conductor omogen la a cărui capete se aplică o tensiune de 1 V și prin care se scurge un curent de 1 A. Temperatura, tensiunea și curentul trebuie să fie perfect constante.

Vom face o experiență pentru determinarea relației dintre tensiunea și intensitatea curentului electric.

În figura alăturată rezistența fixă de 10 Ω este conectată la o tensiune variabilă între 1 și 10 V. Pe cele două instrumente vom măsura următoarele valori:



$U=$ 1 V	3 V	5 V	10 V
$I=$ 0,1 A	0,3 A	0,5 A	1 A

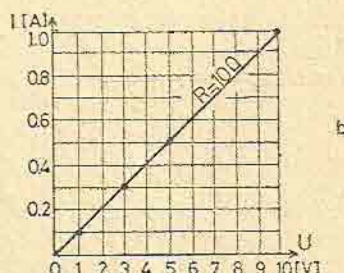


Fig. 4.2. Montaj pentru determinarea legii lui Ohm: *a* — montajul experimental; *b* — diagrama.

Tabelul și diagrama ne sugerează că tensiunea este direct proporțională cu curentul.

$$I=\alpha U$$

Factorul de proporționalitate este tocmai rezistența R și în felul acesta putem scrie legea descoperită de Georg Simon Ohm (1787—1854). Deși la început a fost întîmpinată cu neîncredere de lumea științifică a vremii, legea lui Ohm a devenit una din legile fundamentale ale electrotehnicii. Matematic ea se formulează astfel:

$$U=R\cdot I$$

Deci cu ajutorul rezistenței, putem defini legătura dintre tensiune și curent.

Pentru a înțelege mai bine această lege, să rezolvăm cîteva probleme practice:

1. Ce tensiune trebuie aplicată unei tensiuni de 10 Ω pentru ca prin ea să circule un curent de 100 mA?

Se dă: $R=30\ \Omega$; $I=100$ mA

Se cere: $U=$ tensiunea în volți

Rezolvare: $U=R\cdot I$; $U=30\cdot 0{,}1=3$ V

2. Într-un circuit se măsoară un curent de 20 mA la aplicarea unei tensiuni de 30 V. Care este rezistența acestui circuit?

Se dă: $I=20$ mA $=0{,}02$ A $U=30$ A

Se cere: rezistența în ohmi

Rezolvare: $U=R\cdot I$ $R=\frac{U}{I}=\frac{30\ \text{V}}{0{,}02\ \text{A}}=1\,500\ \Omega$

$R=1500\ \Omega=1{,}5\ \text{k}\Omega$

Se poate reține pentru nevoile practice că $\frac{1\ \text{V}}{1\ \text{mA}}=1\ \text{k}\Omega$

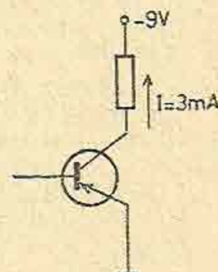


Fig. 4.3. Exemplu practic

Se cere rezistența de sarcină dacă tranzistorul amplificator lucrează la tensiunea de 9 V și pe rezistență cade o jumătate din tensiunea aplicată. Prin tranzistor circulă un curent de 3 mA.

Dacă prin rezistență circulă un curent de 3 mA și pe ea trebuie să cadă o jumătate din tensiunea de lucru, atunci:

$$R=\frac{4{,}5\ \text{V}}{3\ \text{mA}}=1{,}5\ \text{k}\Omega$$

4.2. Puterea electrică

La trecerea unui curent printr-o rezistență se obține un efect caloric. Acest efect stă la baza funcționării fierului de călcat, a radiatorului electric sau a becului incandescent. Cu cît tensiunea și curentul sînt mai mari, cu atît puterea consumată este mai mare. Definim puterea electrică cu produsul dintre tensiune și curent.

$$P = U \cdot I$$

Unitatea de măsură corespunzătoare acestui produs, Volt-Ampere (VA) și se numește watt (W) în cinstea inventatorului englez James Watt (1736—1819)

$$1\ \text{W} = 1\ \text{V} \cdot 1\ \text{A} = 1\ \text{VA}$$

Multiplii și submultiplii unității de putere sînt:

1 Megawatt $= 1\ \text{MW} = 10^6\ \text{W} = 1\,000\,000\ \text{W}$

1 kilowatt $= 1\ \text{kW} = 10^{+3}\ \text{W} = 1\,000\ \text{W}$

1 miliwatt $= 1\ \text{mW} = 10^{-3}\ \text{W} = \frac{1}{1\,000}\ \text{W}$

1 microwatt $= 1\ \mu\text{W} = 10^{-6}\ \text{W} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{W}$

Formula puterii este valabilă în curent continuu. În curent alternativ poate fi folosită dacă între tensiune și curent nu există nici o diferență de fază.

Cu ajutorul legii lui Ohm puterea se poate calcula și astfel:

$$P = U \cdot I = RI \cdot I = RI^2 \qquad P = RI^2$$

$$P = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} \qquad P = \frac{U^2}{R}$$

Exemple:

1. Care este puterea disipată de o rezistență de catod a unui tub electronic, dacă pe rezistență cade o tensiune de 6 V și prin ea circulă un curent de 10 mA?

Se dau: $U = 6$ V; $I = 10$ mA

Se cere: puterea în W

Rezolvare: $P = U \cdot I$ $\quad P = 6\ \text{V} \cdot 10\ \text{mA} = 60\ \text{mW} = 0{,}060\ \text{W} = 60\ \text{mW}$

2. Pentru măsurarea tensiunii de ieșire de radiofrecvență cu ajutorul unui osciloscop se măsoară o tensiune de 30 V_{ef} la bornele unei rezistențe de 60 Ω. Ce putere emite emițătorul?

Se dau: $R = 60$ Ω; $U = 30$ V_{ef}.

Se cere: puterea în W

Rezolvare:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{30\ \text{V} \cdot 30\ \text{V}}{60\ \Omega} = 15\ \text{W}$$

4.3. Energia electrică

Ca și în mecanică, lucrul electric (W = Work) este cu atît mai mare, cu cît puterea se consumă în mai mult timp. Lucrul electric este numit energie, se notează cu W. Energia se calculează cu formula:

$$W = P \cdot t$$

Dacă transformăm în unități electrice, obținem următoarea formulă:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Unitatea de măsură rezultă chiar din această formulă. Dacă înlocuim în formulă unitățile de bază pentru tensiune, curent și timp (Volt, Amper, secundă), obținem unitatea de energie VAs sau Ws. (wattsecundă). Unitatea de măsură este watt secunda (sau Joul), dar uzual este kilowattul oră.

Exemplu:

1. Cîți ws are un kWh?

Rezolvare:

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws}$$

2. Un radioreceptor consumă 60 W. Care este consumul total al receptorului, dacă radioreceptorul este lăsat să funcționeze din greșeală 10 h dintr-o noapte?

Rezolvare:

$$W = P \cdot t = 60 \text{ W} \cdot 10 \text{ h} = 600 \text{ Wh} = 0{,}5 \text{ kWh}$$

TEST. Noțiuni elementare de electrotehnică

1. Care dintre următoarele formule este greșită?
   a. $U = R \cdot I$
   b. $W = \frac{U}{I}$
   c. $F = \frac{1}{T}$
   d. $Q = I \cdot t$

2. Ordonați unitățile de măsură după mărimile care le măsoară

Mărimea	Unitatea de măsură
a. Sarcina electrică	*f*. Watt
b. Intensitatea electrică	*g*. Volt
c. Tensiunea	*h*. Amper
d. Frecvența	*i*. Hertz
e. Puterea	*j*. Coulomb

Care este ordinea corectă?

1.	*aj*	*bh*	*cq*	*di*	*ef*
2.	*aj*	*bq*	*ch*	*di*	*ef*
3.	*ah*	*bj*	*cg*	*di*	*ef*

3. Într-un circuit simplu rezistența rămîne constantă. Ce se întîmplă cu curentul, dacă tensiunea se dublează?

a. Rămîne același
b. Se dublează
c. Scade la jumătate
d. Se triplează

4. Într-un circuit tensiunea rămîne constantă, iar rezistența scade la jumătate. Ce se întîmplă cu intensitatea curentului;?

a. Rămîne aceeași
b. Scade la jumătate
c. Se dublează

5. Care este relația dimensională pentru calculul unei rezistențe în kΩ?

a. $1\ \text{k}\Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$

b. $1\ \text{k}\Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{mA}}$

c. $1\ \text{k}\Omega = \frac{1\ \text{mA}}{1\ \text{V}}$

6. Dacă nu cunoaștem tensiunea, ci numai rezistența și intensitatea curentului care trece prin ea, se poate calcula puterea consumată?

a. $P = I \cdot R$

b. $P = \frac{I \cdot R^2}{2}$

c. $P = R \cdot I$

7. Pentru calculul energiei folosim formula:

a. $W = U \cdot I$

b. $W = U \cdot I \cdot t$

c. $C = \frac{P}{t}$

8. Dacă pe o rezistență cunoscută măsurăm numai tensiunea, putem afla puterea disipată pe ea fără să cunoaștem curentul? Ce formulă folosim?

a. $P = \frac{U}{R}$

b. $P = U \cdot R$

c. $P = U^2 \cdot R$

d. $P = \frac{U^2}{R}$

Ați rezolvat mai mult de șase probleme? Comparați rezultatele!

1	2	3	4	5	6	7	8
b	1	*b*	*c*	*b*	*c*	*b*	*d*

Capitolul 5

Rezistența electrică

După ce am aflat care sînt relațiile dintre tensiune și curent, și am definit rezistența cu ajutorul legii lui Ohm, vom trece la descrierea dispozitivelor construite special pentru a prezenta o anumită rezistență. Acestea se numesc rezistoare, dar în practică sînt cunoscute sub numele de rezistențe.

Cum se explică fenomenul de rezistență?

Curentul electric circulă datorită mișcării purtătorilor de sarcină (electroni). Prin izolator nu circulă curent deoarece electronii sînt foarte legați de nucleul atomilor. În metale electronii de valență se mișcă liber chiar la temperatura camerei și sînt în număr destul de mare pentru a fi purtători de sarcină. Într-un cm^3 de cupru sînt cca 10^{23} electroni liberi. Dar pentru a circula, electronii trebuie să pătrundă printre atomii metalului care nu sînt ficși, ci vibrează față de o anumită poziție. În drumul lor electronii se ciocnesc de atomi, iar viteza lor scade. Putem spune că metalul opune o rezistență față de scurgerea curentului electric și aceasta este rezistența electrică.

5.1. Rezistența specifică

Mărimea valorii unei rezistențe depinde de lungimea conductorului și de suprafața secțiunii lui. În afară de aceasta, rezistența depinde și de material, fiindcă se deosebesc materiale mai bune sau mai rele conductoare de electricitate. Pentru fiecare material există o constantă de material ρ numită rezistența specifică.

Ținînd seama de cele spuse, rezistența se calculează cu formula:

$$R = \frac{\rho l}{s}$$

unde rezistența R se dă în ohmi, lungimea l în metri și suprafața s secțiunii în milimetri pătrați.

Din relația de mai sus obținem relația dimensională pentru rezistența specifică:

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l}$$

Exemplu: Înfășurarea secundară a unui transformator este formată din sîrmă de cupru emailat cu diametru $d = 0{,}3$ mm, lungimea $l = 500$ m și rezistența specifică $\rho = \frac{0{,}0179\ \Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}}$

a. Ce rezistență ohmică prezintă înfășurarea?
b. Ce tensiune cade pe înfășurare dacă prin ea circulă un curent de 0,1 A?

Rezolvare:

a. Suprafața secțiunii conductorului este:

$$s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3{,}14}{4}\ 0{,}09 = 0{,}070\ \text{mm}^2$$

Rezistența firului este:

$$R = \rho\frac{l}{s} = 0{,}0179\ \frac{500}{0{,}070}\ \Omega = 127{,}8\ \Omega$$

b. Cu ajutorul legii lui Ohm calculăm tensiunea ce cade pe înfășurare.

$$U = R \cdot I = 127{,}8 \cdot 0{,}1 = 12{,}78\ \text{V}$$

Uneori în loc de rezistență specifică ρ se dă conductivitatea care este inversa rezistenței specifice și se calculează cu $\chi = \frac{1}{\rho}$

Pentru cupru avem $\chi = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0{,}0179} = 56$

5.2. Clasificarea rezistoarelor

Rezistoarele se împart în următoarele categorii:

— *Rezistoare fixe.* Acele componente a căror valoare este odată stabilită în procesul de fabricare.

— *Rezistoare reglabile* numite și potențiometre sau trimere. Rezistența acestora este variabilă în limite prestabilite cu ajutorul unui contact mobil numit cursor.

— *Rezistoare neliniare.* Valoarea acestora depinde de schimbarea condițiilor de funcționare precum temperatura, tensiunea, iluminarea, etc.

Printre rezistoarele fixe se numără: rezistorul cu peliculă de carbon, rezistorul cu peliculă de oxid metalic, rezistorul cu strat metalic și rezistorul bobinat.

Rezistoarele cu peliculă de carbon sînt formate dintr-un suport izolant acoperit cu un strat subțire de carbon (0,1—10 μm). Pelicula este protejată

a. b. c. d. e. f. g. h. t° U

Fig. 5.1. Simboluri pentru rezistoare: *a* — rezistor obișnuit; *b* — potențiometru; *c* — rezistor semireglabil (trimer); *d* — rezistor cu prize fixe; *e* — șunt; *f* — element de încălzire; *g* — termistor; *h* — varistor

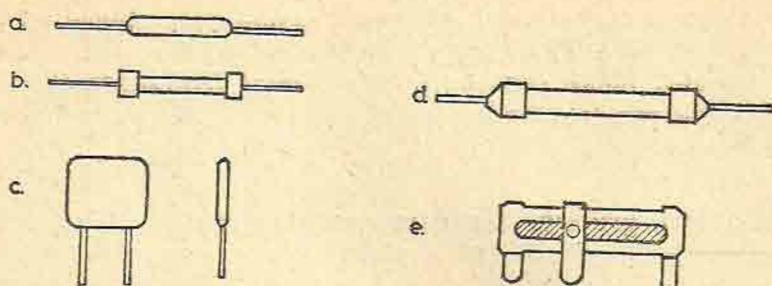


Fig. 5.2. Tipuri constructive de rezistoare: *a* — rezistor pelicular; *b* — rezistor pelicular cu căpăcele; *c* — rezistor cu peliculă metalică; *d* — rezistor bobinat cementat; *e* — rezistor bobinat de putere, cementat.

cu un strat de lac sau plastic după care se marchează valoarea rezistenței cu ajutorul unui cod de culori sau în clar. Aceste rezistențe se folosesc foarte mult în montaje unde se poate disipa o putere de circa 2 W. Valoarea lor este cuprinsă de obicei între 1 Ω și 10 MΩ.

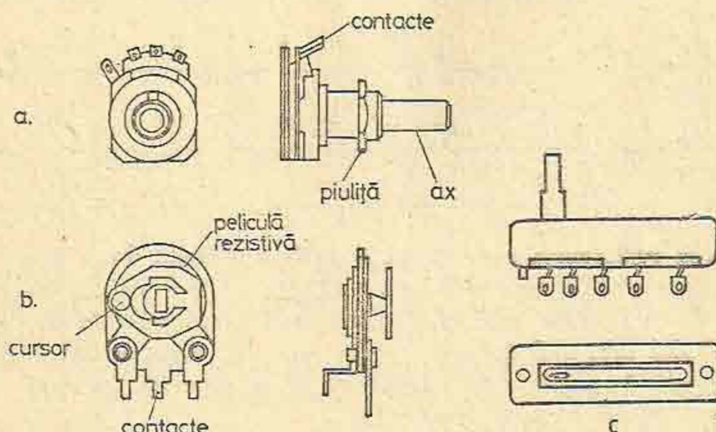
La rezistoarele cu peliculă metalică elementul rezistiv este un strat de metal nobil de mare rezistență. Aceste rezistoare se folosesc în montajele profesionale unde este nevoie de o mare precizie și stabilitate.

Rezistorul cu peliculă de oxizi metalici se utilizează la frecvențe înalte și pot disipa puteri mai mari decît rezistoarele cu peliculă de carbon. Valorile lor au limitele între 10 Ω și 1 MΩ.

Rezistoarele bobinate sînt formate dintr-un fir rezistiv înfășurat pe un suport izolant de obicei ceramic. Pe aceste rezistențe se disipă puteri mari, dar se utilizează numai la frecvențe joase.

Rezistoarele reglabile sînt realizate dintr-o rezistență fixă pe care alunecă un cursor. Au trei borne de legătură, două fiind capetele iar a treia cea a cursorului.

După modul de variație, potențiometrele sînt cel mai adesea liniare, logaritmice sau exponențiale, cu sau fără întrerupător.



Fit. 5.3. Potențiometre: *a* — potențiometru rotativ cu pelicula de carbon; *b* — potențiometru ajustabil cu peliculă de carbon (trimer); *c* — potențiometru rectiliniu.

La potențiometrele liniare rezistența variază proporțional cu unghiul de rotație al rotorului, de exemplu la jumătatea unghiului de rotație corespunde jumătatea valorii rezistenței. Se utilizează frecvent în radiotehnică.

Potențiometrele logaritmice se utilizează mai ales în tehnica audio.

5.3. Simboluri grafice. Marcarea rezistoarelor

La simbolul rezistorului se adaugă diferite segmente de dreaptă care indică puterea disipată (fig. 5.4).

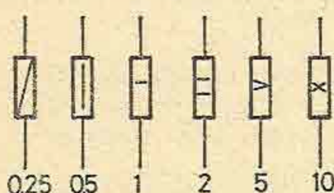


Fig. 5.4. Simbolurile rezistoarelor de diferite puteri de disipație (în W)

La început valorile se notau prin tipărire, dar operația era dificilă și cerea ca rezistoarele să fie astfel montate, încît să se poată citi. Acest mod de notare și montaj este dificil mai ales cînd montajul se face automat. Alt dezavantaj îl constituie dimensiunile mereu mai mici ale rezistoarelor. De aceea s-a ajuns la crearea unui cod de culori valabil pe scară internațională.

Tabelul 5.1.

	Culoarea	negru	maron	roșu	portocaliu	galben	verde	albastru	violet	gri	alb	auriu	argintiu	fără culoare
A	Prima cifră semnificativă	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
B	A doua cifră semnificativă	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
C	Coeficient de multiplicare	1	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{-1}	10^{-2}	—
D	Toleranță %	—	±1	±2	—	—	—	—	—	—	—	±5	±10	±20

Valoarea rezistenței este marcată astfel: primele două inele semnifică valoarea rezistenței, al treilea indică coeficientul de multiplicare, iar ultimul toleranța. Pentru a afla ordinea de citire, trebuie să reținem că întotdeauna primul cerculeț este mai aproape de un capăt al rezistorului decît ultimul. La rezistoarele de precizie mai există și un al cincilea cerculeț care arată variația rezistenței cu temperatura.

Dacă A — Orange; B — Alb; C — Roșu; D — Argintiu, valoarea este $39 \cdot 10^2 = 39$ kΩ și 10% toleranța.

În figura 5.5 am arătat cum se utilizează codul culorilor pentru rezistențe. Toleranța de 10% arată că $R_{max} = 39\ k\Omega + 3,9\ k\Omega = 42,9\ k\Omega$; $R_{min} = 39\ k\Omega - 3,9\ k\Omega = 35,1\ k\Omega$.

Trebuie adăugat că nu se găsesc orice valori de rezistență și valorile lor sînt standardizate numai pentru anumite valori determinate. Schemele de montaj se calculează precis după care se aleg valorile din seria standardizată.

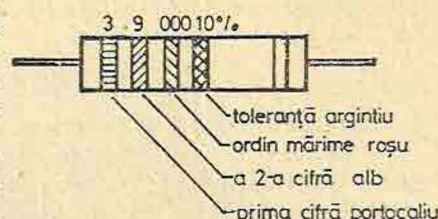


Fig. 5.5. Exemple de utilizare a codului culorilor

Conform recomandărilor CEI[1], există trei serii de valori, E6, E12 și E24, valori corespunzătoare toleranțelor de ±20%, ±10% și ±5%. Pentru rezistențe de precizie există seriile E48 (±2%), E96 (±1%) și E192 (±0,5%). Valorile nominale formează șiruri zecimale.

Pentru nevoile radioamatorilor există seria E12 care cuprinde 12 valori cu toleranțe de 10% la care se atașează ordinul de mărime. În continuare vom prezenta acest șir cu un exemplu de utilizare:

1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,7	3,3	3,9	4,7	5,6	6,8	8,2
10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82
100	120	150	180	220	270	330	390	470	560	680	820
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Aceste rezistențe își plasează valorile între 1 Ω și 10 MΩ, dacă se observă că un șir are termenii între 1 și 10.

Șirul E 24 conține 24 de valori de rezistențe cu o toleranță de 5%. Într-o decadă sînt următoarele valori: 1,0 1,1 1,2 1,3 1,5 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,7 3,0 3,3 3,6 3,9 4,3 4,7 5,1 5,6 6,2 6,8 7,5 8,2 9,1

5.4. Rezistoare neliniare

Termistoare. Termistoarele sînt rezistoare a căror valoare variază mult cu temperatura. După variația acestor rezistențe există termistoare cu coeficient de temperatură negativă (NTC) și cu coeficient de temperatură pozitivă (PTC). La termistoarele PTC rezistența lor crește odată cu temperatura. Acestea sînt folosite ca traductoare sau protecții la scurtcircuit. În caz de scurtcircuit, curentul în termistor crește, temperatura sa crește și, ca urmare crește foarte mult și rezistența electrică, executînd astfel protecția. Termistoarele NTC conduc mai rău în stare rece decît în stare încălzită. Rezistența lor se micșorează odată cu creșterea temperaturii. Acestea se utilizează pentru limitarea curentului inițial din becurile cu incandescență sau din filamentul incandescent.

Pentru cei interesați adăugăm că termistoarele NTC se fabrică din oxizi de crom, nichel, mangan, fier, cobalt care devin semiconductori prin adăugare de titan sau litiu.

---

[1] CEI — Comitetul Electrotehnic Internațional

Pentru a calcula valoarea unei rezistențe în intervalul de temperatură ΔT se poate utiliza relația:

$$R = R_n \pm \alpha \Delta T R_n = R_n \pm \Delta R_n$$

De aici se vede că termenul ΔR_n poate fi pozitiv (Ptc) sau negativ (Ntc).

Varistoare. Varistoarele sînt dispozitive a căror rezistență electrică descrește odată cu tensiunea aplicată. La aplicarea unei tensiuni mici, curentul rămîne mic, dar la o tensiune mai mare curentul crește repede, iar rezistența scade. Varistoarele se utilizează în etajele de stabilizare, ca limitatoare și pentru protecția asupra tensiunii.

Întrebări și răspunsuri

Pentru a fixa noțiunile de mai sus verificați-vă cunoștințele, răspunzînd la următoarele întrebări. Înainte de a răspunde, acoperiți răspunsul tipărit. Oricum la un examen de radioamatori nu aveți răspunsurile și trebuie să știți să răspundeți.

1. De ce metalele sînt bune conducătoare de electricitate și sticla nu?

Răspuns: În izolatori electronii sînt puternic legați de atom. Curentul electric este format din purtători de sarcină mobili. În metale electronii se mișcă liber în rețeaua atomică, iar cîmpul electric le ordonează mișcarea.

2. Care sînt parametrii care influiențează rezistența unui conductor?

Răspuns: Rezistența depinde de materialul rezistiv, lungimea firului și de secțiunea sa transversală.

3. Ce se înțelege prin NTC și PTC?

Răspuns: NTC este rezistență cu coeficient negativ de temperatură. La temperaturi mai mari valoarea sa scade. Pentru PTC valoarea rezistenței crește cu temperatura.

4. Ce fel de rezistențe fixe cunoașteți?

Răspuns: Rezistoarele fixe sînt de următoarele tipuri: cu peliculă de carbon, de volum din oxizi metalici, cu peliculă metalică și rezistoare bobinate.

5. Cînd se utilizează rezistoarele bobinate?

Răspuns: Rezistoarele bobinate se utilizează acolo unde sînt disipate puteri mari. Deoarece ele prezintă o inductivitate proprie, depind de frecvență. De aceea se utilizează numai în montaje de joasă frecvență.

6. Ce valoare are rezistența marcată astfel: albastru, gri, galben, argintiu?

Răspuns: 6, 8, 10^4, 10% = 680 k ± 10%

7. Care sînt valorile în șiruri de rezistențe cu toleranța 10% între 10 și 100 kΩ?

Răspuns: 10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82 kΩ.

8. Ce se înțelege prin potențiometru logaritmic?

Răspuns: Potențiometrul logaritmic este o rezistență variabilă a cărei valoare crește logaritmic cu unghiul de rotație.

Și acum cîteva exerciții:

1. Care dintre valorile de mai jos nu sînt incluse în seria standardizată cu toleranța 10%?

10 12 15 18 20 22 27 33 39 47 56 68 82

Răspuns: *a.* 15; *b.* 20; *c.* 56; *d.* 39

2. Cum este notată o rezistență de 18 kΩ ± 10%

a. maro gri roșu argintiu
b. maro violet portocaliu argintiu
c. maro gri portocaliu argintiu
d. negru gri roșu argintiu

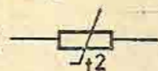
3. Trebuie să alegem o rezistență între 400 și 600 kΩ. Ce valoare standardizată alegem?

a. 470 ± 5%; *b*. 470 ± 10%; *c*. 560 ± 5%; *d*. 560 ± 10%

4. Pentru reglajul de volum al unui radioreceptor vom alege un potențiometru logaritmic sau liniar?

a. liniar
b. logaritmic

5. Ce valoare are rezistența marcată astfel: galben violet roșu argintiu?
a. 4700 ± 5% *b*. 4700 ± 10% *c*. 4,7 ± 10% *d*. 47 ± 10%

6. Ce fel de rezistență reprezintă următorul simbol 

a. potențiometru
b. termistor
c. varistor

7. Cum este marcată o rezistență de 560 kΩ?

a. verde albastru galben argintiu
b. verde albastru roșu argintiu
c. verde violet portocaliu auriu
d. verde albastru galben auriu

8. Diametrul unui conductor este dublu față de diametrul unui alt conductor. Cum va fi rezistența acestuia?

a. de 4 ori mai mare
b. de 2 ori mai mare
c. un sfert din valoare
d. o jumătate din valoare

9. Dacă suprafața secțiunii unui conductor se dublează, rezistența sa:

a. se dublează
b. se micșorează la jumătate
c. se mărește de 4 ori
d. se micșorează de 4 ori.

10. O rezistență este marcată astfel: portocaliu portocaliu maro argintiu. Care sînt valoarea maximă și valoarea minimă?

a. 297 380
b. 297 363
c. 320 340
d. 425 475

Răspunsuri:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
b	*c*	*c*	*b*	*b*	*b*	*a*	*c*	*b*	*b*

Capitolul 6

Gruparea rezistoarelor

În practică rezistoarele se utilizează în combinații cu alte rezistoare sau cu alte componente. Rezistoarele se pot conecta în două moduri: în serie și în paralel.

6.1. Gruparea rezistoarelor în serie

În figura de mai jos se observă modul de conexiune în serie a rezistoarelor. Un capăt al primului rezistor se leagă la sursa de tensiune, celălalt capăt se leagă cu începutul celuilalt rezistor, iar ultimul fir de conexiune se leagă la sursa de tensiune.

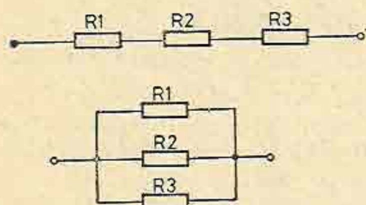


Fig. 6.1. Gruparea rezistoarelor în serie sau paralel

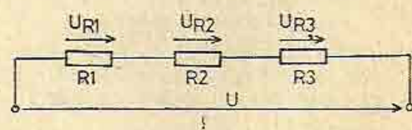


Fig. 6.2. Distribuția tensiunilor pe rezistoarele legate în serie

Dacă în acest circuit intercalăm un miliampermetru, vom măsura un curent care este același în orice punct al circuitului. Prin oricare din rezistoare circulă același curent și pe fiecare rezistor acest curent provoacă o cădere de tensiune, conform legii lui Ohm.

Suma tuturor căderilor de tensiune este egală cu tensiunea aplicată la bornele circuitului.

$$U = R \cdot I$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

și înlocuind cu valorile corespunzătoare avem:

$$R \cdot I = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

Dacă simplificăm relația cu I vom avea:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Ajungem la concluzia că la gruparea în serie a rezistoarelor, rezistența totală este suma rezistențelor componente.

Exemplu: Trei rezistoare 2 kΩ, 4 kΩ și 6 kΩ sînt legate în serie la o tensiune de 12 V. Să se calculeze rezistența totală, intensitatea curentului și căderea de tensiune pe fiecare rezistor?

Se dau: $R_1 = 2$ kΩ $R_2 = 4$ kΩ $R_3 = 6$ kΩ
$U = 12$ V

Se cer:

a. rezistența totală R
b. intensitatea curentului I
c. căderile de tensiune U_1, U_2, U_3

Rezolvare:

a. Schema este dată în figura 6.2.

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$
$$R = 2 + 4 + 6 = 12 \text{ k}\Omega$$

b. $I = \dfrac{U}{R} = \dfrac{12 \text{ V}}{12 \text{ k}\Omega} = 1$ mA

c. $U_1 = R_1 I = 2 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mA} = 2$ V
$$U_2 = R_2 I = 4 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mA} = 4 \text{ V}$$
$$U_3 = R_3 I = 6 \text{ k}\Omega \cdot 1 \text{ mA} = 6 \text{ V}$$

Verificare. $U_1 + U_2 + U_3 = 2 \text{ V} + 4 \text{ V} + 6 \text{ V} = 12$ V

6.2. Divizor de tensiune

O aplicație practică a acestui mod de conexiune este divizorul de tensiune. Acest montaj se folosește ca atenuator adică pentru reducerea unei tensiuni.

Pentru mărimile din figură există relația de proporționalitate

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

În felul acesta putem calcula tensiunea care cade pe R_2.

Pentru divizorul de tensiune se poate utiliza și formula

$$\frac{U_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_2}{R_2}$$

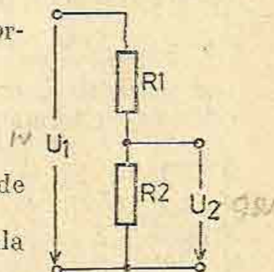


Fig. 6.3. Divizor de tensiune

Pentru a calcula valoarea tensiunii reduse deducem relația:

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_1$$

Să ne întoarcem la exemplul nostru practic și să calculăm căderea de tensiune U_2:

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1 = \frac{4 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega} \cdot 12 \text{ V} = 4 \text{ V}$$

Prin urmare $U_2 = 4$ V

Trebuie să observăm că pe un rezistor căderea de tensiune este cu atît mai mare cu cît rezistența este mai mare.

Exemplu: Cum putem măsura o tensiune de 10 V cu un voltmetru a cărui indicație maximă este 1 V pentru un curent de 100 μA?

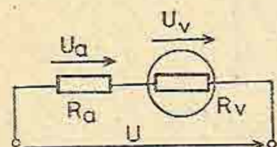


Fig. 6.4. Rezistența adițională a unui voltmetru

Pentru aceasta trebuie inserată o rezistență adițională R_a a cărui valoare trebuie să o calculăm.

Se dau: $U = 10$ V; $U_V = 1$ V; $I = 100$ μA

Se cere: R_a

Rezolvare: Conform legii lui Ohm putem scrie:

$$U = U_a + U_V$$

$$U_a = U - U_v = 10 - 1 = 9 \text{ V}$$

Deci pe rezistența adițională trebuie să cadă 9 V.

Aceasta va trebui să fie: $R_a = \dfrac{U_a}{I} = \dfrac{9 \text{ V}}{0{,}1 \text{ mA}} = 90 \text{ k}\Omega$

Problema se poate rezolva și astfel: din relația divizorului de tensiune avem:

$$R_v = \frac{U_v}{I} = \frac{1 \text{ V}}{0{,}1 \text{ mA}} = 10 \text{ k}\Omega \text{ și}$$

$$\frac{U_a}{U_v} = \frac{R_a}{R_v}$$

$$R_a = \frac{U_a \cdot R_v}{U_v} = \frac{9 \text{ V}}{1 \text{ V}} \cdot 10 \text{ k}\Omega = 90 \text{ k}\Omega$$

6.3. Divizorul potențiometric

Potențiometrele prezentate mai înainte au proprietatea de a regla diferite tensiuni. Schema unui potențiometru poate fi înlocuită cu o schemă echivalentă formată din două rezistențe legate în serie.



Fig. 6.5. Schema echivalentă a divizorului potențiometric

Exemplu: Ce tensiune se culege pe cursorul unui potențiometru liniar de 10 kΩ dacă la bornele potențiometrului se aplică o tensiune de 100 mV și cursorul se află la un sfert din cursa sa?

Se dau: $U = 100$ mV $R = 10$ kΩ $R_1 = 2{,}5$ kΩ $R_2 = 7{,}5$ kΩ

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R}$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R} \cdot U = \frac{7{,}5 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \cdot 100 \text{ mV} = 75 \text{ mV}$$

$$U_2 = 75 \text{ mV}$$

În această lecție au fost mai multe calcule, dar cititorul nu va trebui să se descurajeze pentru că în practica sa de radioamator va întîlni multe asemenea probleme care nu sînt complicate, dar trebuie stăpînite.

Probleme

1. Un voltmetru poate măsura o tensiune maximă de 300 V, prin el trecînd un curent de 100 μA. Rezistența sa adițională este de 2 MΩ. Ce rezistență internă are voltmetrul și ce tensiune poate măsura fără rezistență adițională?

2. Pentru a construi un voltmetru de 500 V avem la dispoziție un instrument de 0,5 mA. Căderea de tensiune pe instrument este 1 V. Ce trebuie să facem pentru a extinde domeniul de măsură?

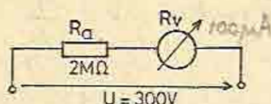


Fig. 6.6. Releu cu rezistență adițională

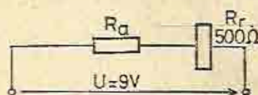


Fig. 6.7. Extinderea domeniului de măsură al unui voltmetru

Să se calculeze mărimea componentelor suplimentare!

3. Un releu cu rezistența înfășurării de 500 Ω se acționează la tensiunea de 9 V. Ce rezistență adițională trebuie montată pentru ca releul să lucreze la o tensiune de 20 V?

Încercați să rezolvați singuri problemele și apoi comparați rezultatele.

Rezolvare:

1. Se dau: $U = 300$ V $I = 0{,}1$ mA $R_a = 2$ MΩ

Se cer: U_v și R_v

Soluție: $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{300\text{ V}}{0{,}1\text{ mA}} = 3000\text{ k}\Omega = 3\text{ M}\Omega$

$$R = R_a + R_v$$

$$R_v = R - R_a = 3 - 2 = 1\text{ M}\Omega$$

$$U_v = R_v \cdot I = 1\text{ M}\Omega \cdot 0{,}1\text{ mA} = 1000\text{ k}\Omega \cdot 0{,}1\text{ mA} = 100\text{ V}$$

$$U_v = 100\text{ V}$$

2. Se dau: $U = 500$ V $I_v = 0{,}5$ mA

Dacă pe instrument cade o tensiune de 1 V, eroarea de măsură este 0,2% ceea ce reprezintă o eroare foarte mică.

$$U - U_v = 500 - 1 = 499\text{ V}$$

Putem calcula rezistența adițională direct fără a greși cumva.

$$R_a = \frac{500\text{ V}}{0{,}5\text{ mA}} = 1000\text{ k}\Omega = 1\text{ M}\Omega$$

Această rezistență disipă o putere de: $P = U \cdot I = 500\text{ V} \cdot 0{,}5\text{ mA} = 250\text{ mW} = 0{,}25\text{ W}$

Observăm că avem nevoie de un rezistor cît se poate de obișnuit.

3. Se dau: $U = 20$ V $R_r = 500$ Ω $U_r = 9$ V

Se cere: R_a

Soluție: $U_a = U - U_r = 20 - 9 = 11$ V

$$\frac{R_a}{R_r} = \frac{U_a}{U_r}$$

$$R_a = \frac{U_a}{U_r} \cdot R_r = \frac{11\text{ V} \cdot 500\ \Omega}{9} = 6{,}1\text{ k}\Omega$$

Se alege rezistorul standardizat 5,6 kΩ

Test

Pentru a fixa cunoştinţele prezentate în acest capitol, completaţi frazele din următorul test:

1. Rezistoarele se grupează în serie dacă.... al primului rezistor se leagă cu.... celuilalt.
2. La gruparea în serie curentul care circulă prin rezistor este.....
3. La gruparea în serie suma tuturor.... de tensiune este egală cu.....
4. La gruparea în serie..... este egală cu suma.....
5. La gruparea în serie tensiunile parţiale sînt proporţionale cu......

Răspunsuri

1. Capătul — începutul *2.* mereu acelaşi *3.* căderilor — tensiunea la bornele circuitului *4.* rezistenţa totală — rezistoarelor *5.* rezistoarele componente.

Capitolul 7

Gruparea rezistoarelor în paralel

În capitolul precedent am învățat cum se grupează rezistoarele în serie și vom reține că:

1. Prin rezistoarele legate în serie circulă un curent de aceeași mărime.
2. Rezistența totală este suma tuturor rezistențelor legate în serie.
3. Suma căderilor de tensiune pe fiecare rezistență este egală cu tensiunea totală: $U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots$
4. Rezistența totală este egală cu suma rezistențelor componente. $R = R_1 + R_2 + R_3$.
5. Tensiunile parțiale (căderile de tensiune) sînt proporționale cu rezistențele respective.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \qquad \frac{U_2}{U_3} = \frac{R_2}{R_3}$$

În continuare vom prezenta gruparea în paralel.

Două sau mai multe rezistoare se grupează în paralel, dacă se leagă împreună toate capetele din dreapta, și respectiv toate capetele din stînga. Se formează un rezistor echivalent avînd două terminale.

Să presupunem că avem trei rezistoare de 2, 4 și 6 kΩ legate în paralel la o tensiune de 12 V. Să măsurăm curentul în fiecare rezistor.

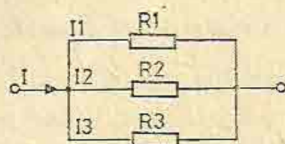


Fig. 7.1. Gruparea în paralel a rezistoarelor

Observăm:

1. Prin fiecare rezistor circulă alt curent.
2. Curentul total este egal cu suma curenților care circulă prin fiecare rezistor:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

3. Tensiunea aplicată este comună fiecărui rezistor.

Prin faptul că întregul curent se divide prin fiecare rezistor, putem spune că rezistoarele legate în paralel formează un divizor de curent.

Dacă înlocuim curenții conform legii lui Ohm și anume $I_1 = \frac{U}{R_1}$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} \text{ și } I_3 = \frac{U}{R_3} \text{ avem:}$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

Simplificînd relaţia de mai sus cu U, obţinem:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$$

Se poate enunţa regula: *inversul rezistenţei totale este egal cu suma inverselor rezistenţelor legate în paralel.*

Exemplu: Să se calculeze rezistenţa echivalentă şi curentul total prin circuitul din figura 7.2.

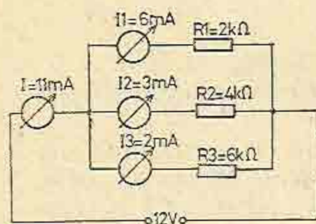


Fig. 7.2. Montaj experimental de grupare în pralel a rezistoarelor

Se dau: $R_1 = 2$ kΩ $R_2 = 4$ kΩ $R_3 = 6$ kΩ

$U = 12$ V

Se cer: rezistenţa echivalentă şi curentul total

Soluţie:

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}=\frac{1}{R_2}=\frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{6}$$

$$\frac{1}{R}=\frac{6}{12}+\frac{3}{12}+\frac{3}{12}=\frac{11}{12}$$

$$\frac{1}{R}=\frac{11}{12} \quad 11\ \mathrm{R}=12 \quad R=\frac{12}{11}\,\mathrm{k\Omega}=1{,}1\ \mathrm{k\Omega}$$

$$I=\frac{U}{R}=\frac{12}{1{,}1}=11\ \mathrm{mA}$$

Se observă că *fiecare rezistenţă este mai mare decît rezistenţa echivalentă, iar curenţii parţiali sînt mai mici decît curentul total.*

Aceste observaţii trebuie reţinute pentru controlul oricărui calcul.

Dacă se leagă două rezistenţe în paralel, avem relaţia: $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$

Aducînd la acelaşi numitor obţinem următoarea relaţie care trebuie reţinută

$$R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$$

Deci, *rezistenţa echivalentă a două rezistenţe legate în paralel, este produsul lor împărţit la suma celor două rezistenţe.* Dacă cele două rezistenţe sînt egale, avem:

$$R=\frac{R_1R_1}{2R_1}=\frac{R_1}{2}$$

Deci, *două rezistoare egale, legate în paralel prezintă o rezistenţă echivalentă egală cu jumătatea fiecăruia.*

Generalizînd pentru n rezistoare grupate în paralel, $R=\frac{R_1}{n}$

Proprietatea rezistoarelor legate în paralel de a divide curentul se poate folosi pentru extinderea domeniului de măsură al unui ampermetru.

Curentul de măsurat circulă numai în parte prin instrument, iar cea mai mare parte circulă prin rezistența montată în paralel, rezistență numită șunt.

Dacă avem două rezistențe legate în paralel R_i și R_s, curentul care circulă printr-o ramură, spre exemplu I_i este:

Fig. 7.3. Divizorul de curent

$$I_i = \frac{R_s}{R_i + R_s} \cdot I_s$$

Exemplu:

Se cere să se extindă la zece miliamperi scala unui miliampermetru care măsoară un miliamper. Rezistența internă a aparatului este 50 Ω.

Se dau: $I_i = 1$ mA $R_i = 50$ Ω $I_i = 10$ mA

Se cere: R_s

Soluție:

Rezistența șuntului se calculează cu ajutorul legii lui Ohm.

$$R_s = \frac{U}{I_s}$$

Calculăm mai întîi tensiunea U:

$$U = R_i \cdot I_i = 50\ \Omega \cdot 1\ \text{mA} = 50\ \text{mV}$$

Această tensiune se aplică și șuntului:

$$I_s = I - I_i = 10\ \text{mA} - 1\ \text{mA} = 9\ \text{mA}$$

$$R_s = \frac{U}{I_s} = \frac{50\ \text{mV}}{9\ \text{mA}} = 5{,}1\ \Omega$$

Puterea disipată este:

$$P = U \cdot I_s = 50 \cdot 9\ \text{mA} = 0{,}45\ \text{W}$$

În practică se întîmplă să avem și moduri combinate de conexiune ale rezistențelor care pînă la urmă se reduc la conexiunile serie sau paralel.

Exemplu: 1.

Mai întîi se rezolvă ramura serie: $R_{1,2} = R_1 + R_2 = 100\ \Omega + 200\ \Omega = 300\ \Omega$

Schema devine:

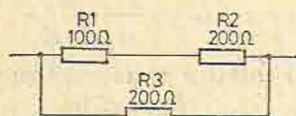


Fig. 7.4.

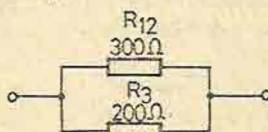


Fig. 7.5.

$$R = \frac{R_{1,2} \cdot R_3}{R_{1,2} + R_3} = \frac{300 \cdot 200}{300 + 200} = \frac{60\ 000}{500} = \frac{600}{5} = 120\ \Omega$$

2.

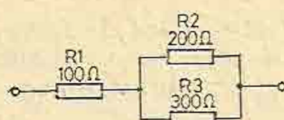


Fig. 7.6.

Mai întîi rezolvăm schema paralel.

$$R_{1,2,3} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = 120\ \Omega$$

Schema devine:

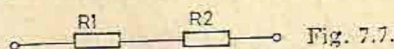


Fig. 7.7.

$$R = R_1 + R_{2,3} = 100 + 120 = 220\ \Omega$$

Să facem acum o recapitulare a celor două moduri fundamentale de conexiune:

Serie



Fig. 7.8.

1. Curentul este acelaşi prin toate rezistoarele.

2. Tensiunea totală aplicată este egală cu suma căderilor de tensiune pe rezistoare.

3. Rezistenţa echivalentă este egală cu suma rezistenţelor în serie

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Pentru 2 rezistenţe $R = R_1 + R_2$
Pentru n rezistenţe egale $R = n \cdot R_1$.

4. Tensiunile se află în acelaşi raport cu rezistenţele:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Paralel

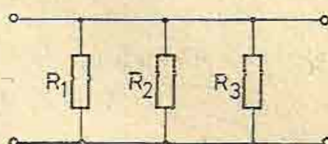


Fig. 7.9.

1. Tensiunea este aceeaşi la bornele tuturor rezistoarelor.

2. Curentul total este egal cu suma curenţilor parţiali.

3. Inversul rezistenţelor echivalente este egal cu suma inverselor rezistenţelor componente.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Pentru 2 rezistenţe în paralel

$$R = \frac{R_{1,2}}{R_1 + R_2}$$

Pentru n rezistenţe egale
$R = R_1/n$.

4. Curenţii se află în raport invers faţă de rezistenţă

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

5. Prin legarea în serie se obține un divizor de tensiune.

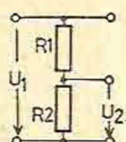


Fig.7.10.

$$R_a = \frac{U - U_v}{I_v}$$

5. Prin legarea în paralel se obține un divizor de curent.

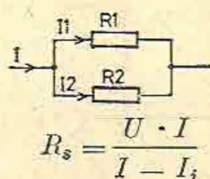


Fig. 7.11.

$$R_s = \frac{U \cdot I}{I - I_i}$$

În încheiere încă o problemă ce o veți întîlni des în practică.
Transformați următoarele mărimi.:

a)	în Amperi	5,3 μA	43 mA	850 μA
b)	în Ohmi	2,700 kΩ	5,4 MΩ	0,25 MΩ
c)	în Watti	0,2 kV, 50 mA		5 kV · 50 mA

Răspunsuri:

a) 0,000 0053 A = $5{,}3 \cdot 10^{-6}$ A
0,043 A = $43 \cdot 10^{-3}$
0,00085 A = $85 \cdot 10^{-5}$ A

b) 2700 Ω.
$5{,}4 \cdot 10^{6}$ = 5 400 000 Ω
$0{,}25 \cdot 10^{6}$ = 250 000 Ω

c) 10 W
250 W

Capitolul 8

Condensatorul

8.1. Cîmpul electric

În cele ce urmează vom face cunoștință cu condensatorul și modurile sale de conexiune. Condensatoarele sînt folosite foarte des în aparatele electronice precum și în emițătoarele și receptoarele radio.

Un condensator este format din două suprafețe metalice, așezate față în față între care se află un izolator numit dielectric.

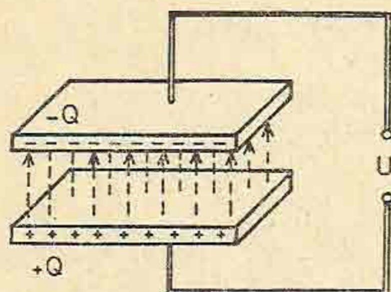


Fig. 8.1. Distribuția cîmpului electric între plăcile unui condensator

Dacă cele două plăci ale condensatorului se leagă la o sursă de curent continuu, între ele va apare un cîmp electric. Intensitatea acestui cîmp depinde de mărimea tensiunii aplicate pe condensator și de distanța dintre plăci. Pentru cîmpul electric care ia naștere în condensator se poate scrie formula:

$$E = \frac{U}{d}$$

unde U este tensiunea de curent continuu în volți, iar

d — distanța dintre plăci în metri

Unitatea de măsură a cîmpului electric este $\frac{V}{m}$ adică Volt pe metru.

Cîmpul electric este cu atît mai mare cu cît tensiunea aplicată este mai mare și cu cît distanța dintre plăci este mai mică.

Trebuie adăugat că dielectricul dintre plăci nu rezistă la tensiuni nelimitate și după un anumit prag condensatorul „se străpunge„. În instalațiile de emisie de mare putere condensatorii lucrează la tensiuni mari, iar distanța dintre plăci nu este prea mică.

8.2. Capacitatea condensatorului

Între plăcile condensatorului există întotdeauna dielectricul care este aer sau un material izolant oarecare. Deoarece electronii din materialul izolant sînt legați puternic de nucleele atomice la aplicarea unei tensiuni continue pe plăci, prin dielectric nu poate circula nici un curent electric.

Tensiunea aplicată crează un cîmp electric ale cărui linii de forță polarizează moleculele dielectricului. Apar așa-numiții dipoli moleculari care pot înmagazina sarcină electrică.

De fapt, apare o orientare a moleculelor care formează niște dipoli. Această orientare se păstrează un timp și după îndepărtarea tensiunii de pe plăci. Astfel, în condensator se înmagazinează o cantitate de electricitate Q, iar această proprietate de înmagazinare se numește capacitate, C. Capacitatea este definită ca raportul între cantitatea de electricitate Q și tensiunea aplicată la borne.

$$C = \frac{Q}{U}$$

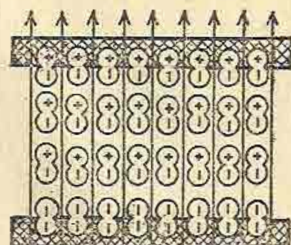


Fig. 8.2. Formarea dipolilor moleculari

Formula se mai poate scrie: $Q = C \cdot U$.

Capacitatea C depinde de mărimea suprafeței s a plăcilor condensatorilor, de distanța d dintre plăci, precum și de materialul dielectric. Pentru dielectricul vid se definește constanta dielectrică ε_0 față de care se calculează permitivitatea relativă ε_r a unui dielectric oarecare. Pentru un dielectric este dat numărul ε care este $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$ și arată de cîte ori este mai mare capacitatea unui condensator cu un anumit dielectric față de același condensator cu vid.

Capacitatea condensatorului se calculează cu ajutorul formulei:

$$C = \varepsilon \frac{s}{d}$$

Unitatea de măsură a capacității provine din formula de definiție

$$C = \frac{Q}{U}$$

și este coulomb-ul pe Volt (1 C/1 V). În cinstea fizicianului englez Michael Faraday (1791—1867) unitatea de capacitate a fost numită Farad (F). Această unitate este mult prea mare pentru nevoile practice și din această cauză se utilizează submultiplii săi.

1 microfarad = 1 μF = 10^{-6} F

1 nanofarad = 1 nF = 10^{-9} F

1 picofarad = 1 pF = 10^{-12} F

8.3. Gruparea condensatoarelor

Ca și rezistențele, condensatoarele se pot lega în serie, paralel sau mixt.

În cazul legării în paralel se mărește suprafața plăcilor condensatorului și prin aceasta capacitatea rezultantă. Capacitatea totală este egală cu suma capacităților conectate:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots$$

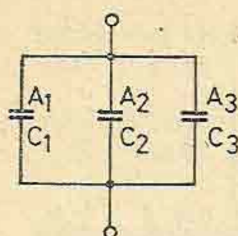


Fig. 8.3. Gruparea condensatoarelor în paralel

Se observă că la gruparea în paralel a condensatoarelor capacitatea totală se calculează asemănător cu rezistența totală a rezistoarelor legate în serie.

Exemplu. Care este capacitatea rezultată din legarea în paralel a condensatorilor cu capacitățile $C_1 = 470$ pF; $C_2 = 220$ pF

$$C = C_1 + C_2 = 470 \text{ pF} + 220 \text{ pF} = 690 \text{ pF}$$

Gruparea condensatoarelor în serie este echivalentă cu creșterea distanței între plăci și deci înseamnă o micșorare a capacității.

Relația de calcul este:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3};$$

relație asemănătoare celei cu care se calculează rezistența echivalentă a unor rezistoare grupate în paralel. Și aici trebuie să observăm că ne putem verifica rezultatul: capacitatea totală are o valoare mai mică decît cea mai mică dintre capacitățile folosite.

Deoarece nu sînt necesare calcule complicate vom prezenta algoritmul de deducere a capacității totale a unor condensatoare grupate în serie.

Să presupunem că avem trei condensatoare grupate în serie. Curentul de încărcare este I, iar toate condensatoarele vor primi cantitatea de electricitate Q. Tensiunea totală aplicată seriei de condensatoare este egală cu suma tensiunilor parțiale aplicate pe fiecare condensator.

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Deoarece $U = \frac{Q}{C}$ relația de mai sus devine:

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3}$$

Dacă $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$
putem simplifica cu Q și obținem relația:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Corespunzător a două rezistențe grupate în paralel avem și relații de calcul pentru două condensatoare grupate în serie:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

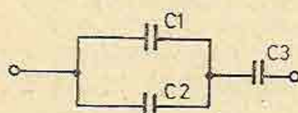


Fig. 8.4.

Exemplu. Să se calculeze capacitatea totală a condensatoarelor din figură.

Se dau: $C_1 = 4$ μF; $C_2 = 3$ μF; $C_3 = 4$ μF

Mai întîi se calculează capacitatea condensatoarelor grupate în paralel:

$$C_{1,2} = 4 + 3 = 7 \text{ μF}$$

Apoi se calculează capacitatea condensatoarelor grupate în serie $C_{1,2}$ şi C_3:

$$C = \frac{7 \cdot 4}{7 + 4} = \frac{28}{11} = 2{,}5\ \mu F$$

Observaţie: Tensiunea cea mai mare se aplică pe condensatorul de cea mai mică valoare a capacităţii

8.4. Condensatorul în curent continuu

Dacă pe plăcile unui condensator aplicăm o tensiune continuă acesta se încarcă. Un miliampermetru legat în serie cu condensatorul măsoară la început un curent de intensitate mare care apoi scade repede.

După cum se observă în diagramele de mai jos, condensatorul nu se încarcă brusc, ci urmînd o anumită lege de variaţie. Pînă la atingerea valorii maxime se scurge un anumit timp şi pentru aceasta se defineşte timpul de încărcare. Timpul de încărcare se măsoară cu aşa-numita constantă de timp τ care este intervalul de timp în care condensatorul se încarcă pînă la 63% din tensiunea aplicată la borne sau timpul în care curentul de încărcare scade pînă la 37% din valoarea iniţială.

Constanta de timp este dată de următoarea relaţie:

$$\tau = RC$$

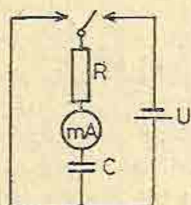


Fig. 8.5. Schema experimentală pentru încărcarea şi descărcarea unui condensator

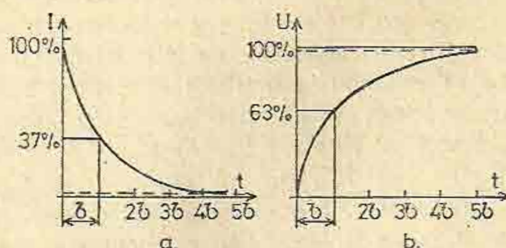


Fig. 8.6. Curbele de încărcare ale unui condensator: *a* — curentul; *b* — tensiunea.

unde R este rezistenţa circuitului de încărcare.

Constanta de timp se măsoară în secunde, cînd R este dat în ohmi, iar C în Farazi.

Se constată că după trecerea unui timp egal cu 5τ, condensatorul este practic încărcat (99% din tensiunea aplicată), iar curentul de încărcare reprezintă numai 1% din valoarea iniţială.

Procesul de descărcare este aproape identic.

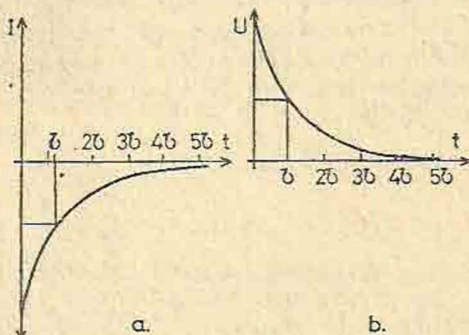


Fig. 8.7. Curbele de descărcare ale unui condensator: *a*—curentul; *b* — tensiunea.

Condensatorul încărcat la tensiunea U se descarcă prin R, iar curentul are un sens contrar celui de încărcare. Constanta de timp τ se definește ca timpul scurs de la începutul descărcării pînă cînd curentul atinge 37% din valoarea inițială. În figura ce urmează se dau curbele de variație ale tensiunii și curentului într-un proces de încărcare și descărcare succesivă.

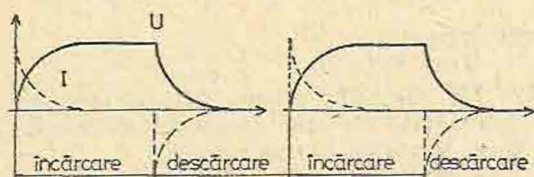


Fig. 8.8. Curbele de încărcare *(a)* și descărcare *(b)* periodică a unui condensator

Exemplu. Să se calculeze constanta de timp a unui condensator de 10 μF care se încarcă pe o rezistență de 100 kΩ.

Soluție $\tau = RC = 100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1\,000 \cdot 10^{-3} = 1$ s

Condensatorul se încarcă complet după 5τ, adică după 5 s.

8.5. Condensatorul în curent alternativ

Dacă legăm un condensator la o sursă de curent alternativ, acesta se va încărca și descărca în ritmul alternanțelor. Deci condensatorul acumulează energie într-o semiperioadă și o cedează în cealaltă semiperioadă. De aceea nu putem spune că în curent alternativ condensatorul prezintă o rezistență, ci o altă caracteristică care se numește reactanță și depinde de frecvența curentului alternativ. Simplificînd foarte mult lucrurile, putem defini reactanța capacitivă ca raportul dintre tensiune și curent, relative la condensator.

$$X_c = \frac{U_c}{I_c}$$

Curentul I_c este cu atît mai mare cu cît capacitatea condensatorului este mai mare, cu cît încărcarea este mai rapidă (depinzînd de frecvență) și cu cît tensiunea aplicată este mai mare. În cazul condensatorului utilizăm pulsația curentului care este dată de formula cunoscută în capitolul „Curentul alternativ" $\omega = 2\pi f$. În acest fel:

$$I_c = \omega C U_c$$

Atunci definim:

$$X_c = \frac{U_c}{I_c} = \frac{1}{\omega C}$$

Vom reține formula:

$$\boxed{X_c = \frac{1}{2\pi f C}}$$

cu ajutorul căreia putem calcula reactanța capacitivă a condensatorului, cunoscînd numai capacitatea sa și frecvența curentului alternativ aplicat. Pentru calculele uzuale în practica radioamatorilor se utilizează formula:

$$X_c = \frac{159}{fC}$$

unde:

— la frecvențe joase X_c se obține în ohmi, dacă frecvența este dată în kHz și C în μF, iar

— la frecvența radio X_c în kΩ, dacă frecvența este dată în MHz și C în pF.

În această formulă va trebui să rețineți neapărat numărul 159.

Exemplu: Să calculăm reactanța unui condensator de 0,01 μF la 10 kHz și la 100 kHz.

Soluție $X_C = \frac{159}{10 \cdot 0{,}01} = 1590\ \Omega$

$$X_C = \frac{159}{100 \cdot 0{,}01} = 159\ \Omega$$

Din această mică problemă vom reține că: *reactanța capacitivă este invers proporțională cu frecvența.*

Trebuie să mai știm că un condensator blochează curentul continuu în timp ce curentul alternativ trece prin el, condensatorul opunîndu-i o anumită reactanță. De aceea el are multiple utilizări în circuitele electronice.

Spre deosebire de rezistență unde curentul și tensiunea sînt în fază, prin condensator curentul trece înaintea tensiunii. Acest decalaj se numește defazare. Dacă pe un condensator se aplică o tensiune alternativă, la început va circula un curent de încărcare destul de mare care scade pe măsură ce tensiunea crește.

Această defazare între tensiune și curent măsoară 90°.

Deoarece nu putem apela la instrumente matematice, vom spune numai atît că rezistența este un număr real, iar reactanța un număr imaginar și decalajul dintre tensiune și curent se datorește acestei deosebiri.

Vom reține totuși: *prin condensator curentul este defazat înaintea tensiunii.*

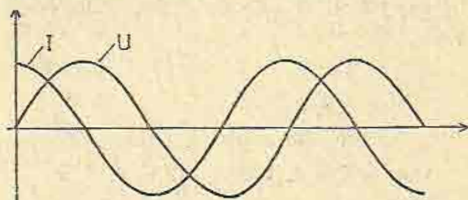


Fig. 8.9. Tensiunea și curentul într-un condensator în regim alternativ

8.6. Factorul de pierdere

Un condensator nu este niciodată ideal deoarece nu poate reda în întregime cantitatea de energie înmagazinată. O mică parte se pierde în procese intime, cum ar fi de exemplu, pierderile prin căldură, care depind de material și de frecvență. Pentru a ilustra aceste pierderi se poate imagina o schemă echivalentă a unui condensator real formată dintr-un condensator ideal

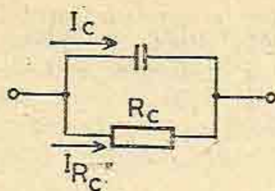


Fig. 8.10. Schema echivalentă a unui condensator real.

și o rezistență. Raportul curenților din cele două ramuri I_R și I_C este definit ca factor de pierdere.

$$\frac{I_R}{I_C}=\frac{\frac{U}{R}}{\frac{U}{X_c}}=\frac{X_c}{R}=\frac{\frac{1}{\omega C}}{R}=\frac{1}{\omega RC}.$$

Acest factor de pierdere este foarte mic la condensatoarele moderne. În lecția următoare vom prezenta formele constructive ale condensatorului, dar pînă atunci trebuie să rezolvăm cîteva probleme.

Test

1. Care dintre relațiile de mai jos este corectă?

$a.$ $1\ \text{nF}=\frac{1}{1\,000}\ \text{pF}$ $\qquad$ $c.$ $1\ \text{nF}=1000\ \text{pF}$

$b.$ $1\ \text{nF}=\frac{1}{1\,000}\ \mu\text{F}$ $\qquad$ $d.$ $1\ \text{nF}=0{,}001\ \mu\text{F}$

2. Două condensatoare de 250 pF și 300 pF sînt conectați în paralel. Calculați capacitatea totală.

a. 140 pF $\qquad$ *c.* 350 pF
b. 275 pF $\qquad$ *d.* 550 pF

3. Două condensatoare de 22 pF sînt conectate în serie. Calculați capacitatea finală.

a. 36 pF *b.* 44 pF *c.* 11 pF *d.* 66 pF

4. Un condensator variabil de 160 pF este conectat în serie cu un condensator de 40 pF. În paralel cu acestea este montat un condensator de 18 pF. Calculați capacitatea totală a ansamblului.

a. 175 pF $\qquad$ *c.* 50 pF
b. 240 pF $\qquad$ *d.* 17 pF

5. Care este impedanța unui condensator de 100 pF la o frecvență de 10 MHz?

a. 0,159 *b.* 159 *c.* 15,9 *d.* 1,59

Răspunsuri

1. *c* 2. *d* 3. *c* 4. *c* 5. *b*

Capitolul 9

Forme constructive ale condensatorului

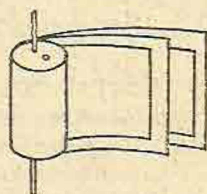
După ce în lecția trecută am făcut cunoștință cu condensatorul din punct de vedere teoretic, în cele ce urmează vom prezenta diferitele tipuri constructive de condensatoare.

În primul rînd există condensatori cu capacitate fixă și condensatori cu capacitate variabilă. Condensatorii cu capacitate fixă se deosebesc mai ales prin natura dielectricului.

Pentru fiecare condensator se indică valoarea nominală, toleranța și tensiunea maximă admisibilă în regim permanent și uneori temperatura de lucru.

9.1. Condensatorul cu hîrtie

Armăturile acestui condensator sînt formate din folii metalice separate de un dielectric de hîrtie impregnată. Pentru a se obține o capacitate mai mare foliile se rulează împreună cu hîrtia, formînd un fel de sul. Condensatorul astfel format se introduce într-un înveliș metalic sau într-o masă plastică izolatoare, acestea avînd și rolul de protecție. Aceste condensatoare sînt ieftine și se utilizează acolo unde pretențiile nu sînt prea mari: frecvențe joase și tensiuni mici.


Fig. 9.1. Structura unui condensator cu hîrtie

De asemenea acolo unde factorul de pierderi și îmbătrînirea nu influențează funcționarea montajului. Desigur aceste condensatoare nu se utilizează nici în emițătoarele radioamatorilor.

9.2. Condensatoare cu hîrtie metalizată

Pe o folie de hîrtie impregnată se depune o peliculă foarte subțire (0,1 mm) din metal.

Prin acest procedeu se obține o capacitate mai mare. Aceste condensatoare au avantajul că la o eventuală străpungere a dielectricului, apare o mică scînteie a cărei temperatură volatilizează stratul de metal din jur. În felul acesta locul defectului este curățat de metal, condensatorul putînd

funcționa mai departe. Condensatoarele cu hîrtie se folosesc la antiparazitarea motoarelor, la îmbunătățirea factorului de putere în rețelele cu lămpi fluorescente, în filtre și pentru cuplaj sau decuplej în joasă frecvență.


Fig. 9.2. Condensator cu hîrtie metalizată

9.3. Condensatoare cu peliculă din material plastic

Aceste condensatoare sînt foarte răspîndite în aparatura radio, de televiziune, audio și circuitele industriale. Drept armături se folosesc folii subțiri de aluminiu sau staniu depuse pe dielectrici din masă plastică, precum ar fi: stiroflex, (polistiren), mylar (polietilenă tereftalată) și teflon (politetrafluoretilenă).

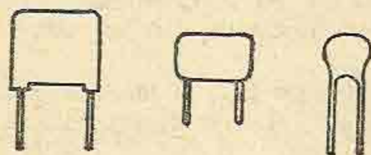



Fig. 9.3. Condensatoare cu peliculă din material plastic

Aceste condensatoare se acoperă cu material plastic sau cu tuburi metalice. Se comportă mult mai bine decît condensatoarele din hîrtie, mai ales în regim de temperaturi mai înalte sau în condiții grele, cum ar fi umiditate mare. Rezistența lor de izolație se situează între 100 și 10 000 MΩ.

Marcarea acestor condensatoare se face în clar cu cifre și litere. Tensiunea nominală se notează cu o culoare la o extremitate a condensatorului.

În continuare prezentăm codul culorilor pentru tensiuni.

albastru — 25 V_{cc}; galben — 63 V_{cc}; roșu — 160 V_{cc}; verde — 250 V_{cc}; negru — 630 V_{cc}; negru — 1 000 V_{cc}.

9.4. Condensatoarele ceramice

Condensatoarele ceramice sînt formate dintr-un suport ceramic pe ale cărui fețe s-au depus două straturi de argint. Există o mare varietate de condensatoare ceramice, dar ele se pot clasifica după natura ceramicii utilizate în:

— condensatoare de tip 1 cu permitivitatea dielectrică joasă;
— condensatoare de tip 2 cu permitivitatea dielectrică înaltă;
— condensatoare ceramice multistrat.

Condensatoarele ceramice de tip 1 au pierderi mici și stabilitate bună la temperatură, dar au valori mici, pînă la 220 pF.

Condensatoarele ceramice de tip 2 au permitivitatea dielectrică foarte mare care poate permite construirea unor condensatoare cu capacități mari — între 200 pF și 100 nF. Din păcate, aceste condensatoare sînt instabile la schimbarea de temperatură și au pierderi mai mari ($tg\ \delta = 3 \cdot 10^{-3}$ față de $1 \cdot 10^{-3}$).

După forma suportului ceramic, condensatoarele pot fi sub formă de disc, plachetă, tubulare sau sub formă de pastile sau perle.

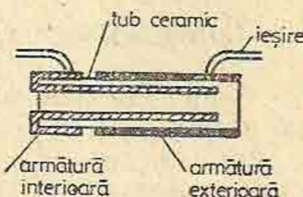
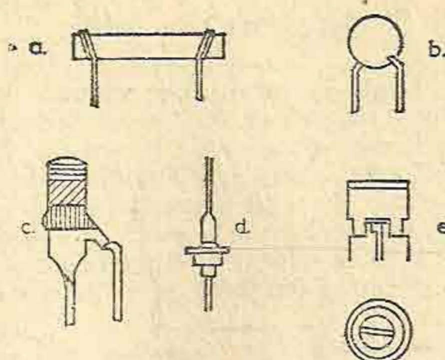


Fig. 9.4. Secțiune printr-un condensator ceramic tubular

Fig. 9.5. Forme constructive ale condensatoarelor ceramice: *a* — tubular; *b* — disc; *c* — perlă pentru implantare verticală; *d* — condensator de trecere; *e* — semireglabil (trimer).



În afară de aceste două tipuri, există şi condensatoare multistrat cu dielectric de tip 2. Datorită acestor tèhnologii se obţin capacităţi mari pe unitate de volum. Condensatoarele multistrat sînt destinate circuitelor profesionale şi au un preţ de cost ridicat.

Trebuie amintit că şi pentru condensatoare se utilizează un cod al culorilor pe care il prezentăm în tabelul alăturat.

Tabelul 9.1.

Culoarea	Prima cifră	A doua cifră	Factor de multiplicare	Toleranţă 0,5	L = 10 pF
negru	0	0	$10^0 = 1$	±2 pF	±20%
maro	1	1	$10^1 = 10$	±0,1 pF	±1%
roşu	2	2	$10^2 = 100$	±0,25 pF	±2%
portocaliu	3	3	$10^3 = 1\,000$	—	—
galben	4	4	$10^4 = 10\,000$	—	—
verde	5	5	$10^5 = 100\,000$	±0,5 pF	±5%
violet	6	6		—	—
albastru	7	7	$10^{-2} = 0{,}01$	—	—
cenuşiu	8	8	$10^{-1} = 0{,}1$	±1 pF	±10%
alb	9	9			
auriu	—	—	—	—	—

În etajele finale ale emiţătoarelor radio se utilizează condensatoare ceramice de mare putere. Acestea sînt confecţionate din materiale ceramice deosebite şi au o distanţă mare între armături. În aparatura utilizată de radioamatori aceste condensatoare rezistă la tensiuni de pînă la 15 000 V.

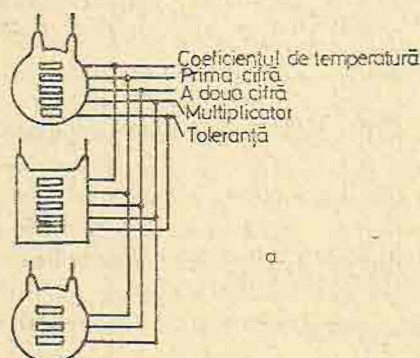
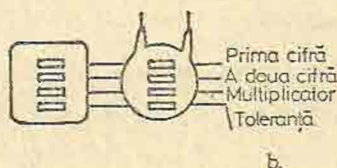


Fig. 9.6. Marcarea condensatoarelor ceramice: *a* — de tip 1; *b* — de tip II.



9.5. Condensatori electrolitici

Acești condensatori au valori foarte mari datorită modului de construcție care asigură un strat de dielectric foarte subțire. Unul dintre electrozi este format dintr-un metal precum aluminiul, tantalul sau niobiul. Celălalt este format dintr-un electrolit, lichid, semiuscat sau solid.

Între electrolit și armătura metalică se formează un strat izolant foarte subțire de oxid care lucrează ca dielectric.

Trebuie reținut că întotdeauna armătura metalică de obicei exterioară din aluminiu formează polul minus, iar electrodul central este polul plus.

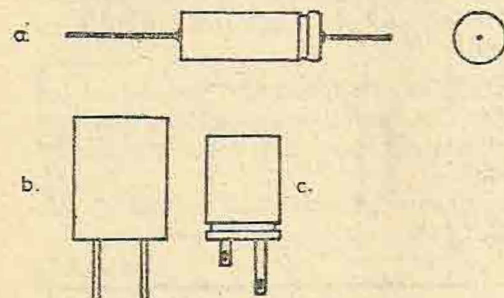


Fig. 9.7. Forme constructive de condensatoare electrolitice: a—miniatură; b — miniatură; c — de mare capacitate.

Acești condensatori se vor monta respectînd polaritatea deoarece o inversare duce la distrugerea lor. Atenție deci!

Datorită stratului foarte subțire de oxid condensatorul electrolitic are o capacitate foarte mare, dar și un factor de pierderi ridicat. De asemenea sînt sensibili la supratensiuni. Condensatoarele electrolitice se utilizează la cuplaje în joasă frecvență și în celulele de filtraj ale redresorilor.

În figură sînt prezentate diferitele forme constructive de condensatoare electrolitice. În continuare vom da cîteva sfaturi practice.

Dacă un condensator a fost depozitat mai multă vreme fără a fi încărcat pot apare defecte în stratul de oxid, defecte care se pot remedia prin aplicarea corectă a unei tensiuni continue.

Pentru a verifica dacă un condensator electrolitic de mare capacitate este încă bun se încarcă la tensiunea nominală și se măsoară după 5 minute, curentul de descărcare. Acesta nu trebuie să depășească 0,2 μA pe Volt.

De regulă condensatorii se măsoară cu punți RLC. Există și metode mai accesibile, dar mai puțin precise.

Pentru început se încarcă deci condensatorul la tensiunea de lucru și după 5 minute de la atingerea acestei tensiuni se descarcă pînă la 37% din tensiune printr-un voltmetru cu rezistență internă mare. Vom cronometra timpul de descărcare și ținînd seama de formula $\tau = RC$ calculăm capacitatea astfel: $C = \frac{\tau}{R}$.

Dacă τ este măsurată în secunde și R în MΩ vom obține capacitatea condensatorului electrolitic direct în μF.

Exemplu:

Printr-un voltmetru cu rezistența internă de 50 kΩ (0,05 MΩ) se descarcă un condensator electrolitic în 5 s. Care este capacitatea condensatorului?

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{5}{0,05} = 100\ \mu F$$

Condensatorii electrolitici se marchează în clar cu litere și cifre, indicîndu-se valoarea în microfarazi și tensiunea de lucru. Polul negativ este format de cămașa metalică dar în general este marcat pentru evitarea oricăror confuzii. Uneori se indică și clasa de toleranță.

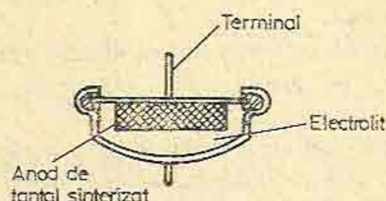


Fig. 9.8. Secțiune printr-un condensator electrolitic cu tantal

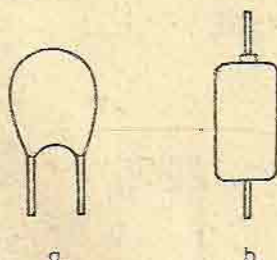


Fig. 9.9. Condensatoare cu tantal și electrolit solid

Condensatoarele electrolitice cu tantal. Aceste condensatoare sînt o perfecționare a condensatoarelor electrolitice cu aluminiu. Cele mai răspîndite au polul pozitiv format dintr-un cilindru de pulbere de tantal presată și sinterizată. Prin cufundarea acestuia în electrolit lichid sau solid și apoi prin formare ia naștere un strat de oxid care constituie dielectricul.

Secțiune printr-un condensator electrolitic cu tantal. Trebuie să reținem că acești condensatori au o durată mare de viață cu păstrarea intactă a parametrilor electrici.

9.6. Condensatoare variabile

Aceste condensatoare sînt formate din două sisteme de plăci unul dintre ele putîndu-se mișca față de celălalt, modificîndu-se astfel capacitatea. Plăcile fixe formează statorul, iar cele mobile rotorul. Dielectricul este de obicei aerul cu o constantă $\varepsilon_r = 1$, iar valorile acestor condensatoare sînt relativ mici, pînă la 500 pF. Condensatoarele variabile au un volum destul de mare, dar stabilitatea lor în timp este bună și pierderile mici.

Există și condensatoare variabile cu dielectric solid care au dimensiuni mici și se utilizează în radioreceptoarele de dimensiuni reduse. Totuși calitățile lor sînt mai slabe.

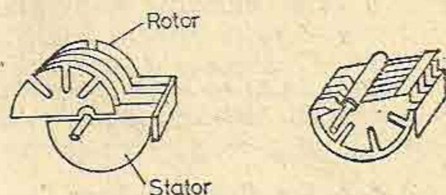


Fig. 9.10. Condensator variabil cu aer

Condensatoarele variabile se folosesc ca elemente de acord în circuitele oscilante. În radioreceptoare și emițătoare se folosesc condensatoare care realizează variația lineară a frecvenței odată cu variația unghiului de rotație al rotorului. În afară de acestea mai există condensatoare variabile cu variația lineară sau logaritmică a capacității.

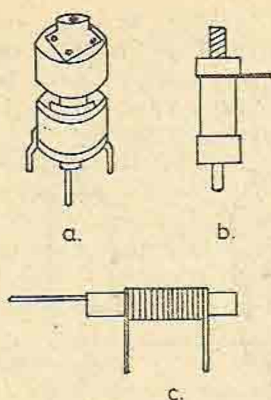


Fig. 9.11. Condensatoare ajustabile: *a* — cu aer; *b*—ceramic;—*c*—bobinat.

Tot în categoria condensatoarelor variabile sînt incluse și condensatoarele semireglabile. Aceste condensatoare pot păstra în timp o capacitate stabilită prin reglaj. Reglajul lor se face cu șurubelnița și nu mai este accesibil după închiderea aparatului. În practică s-a răspîndit denumirea de trimer și este unanim acceptată.

După tipul constructiv putem clasifica trimerele astfel: trimere cu aer, trimere cilindrice, trimere cu disc etc.

Trimerele cu aer au caracteristici electrice foarte bune dar sînt greu reglabile și se utilizează în aparatura profesională.

Trimerele cilindrice sînt formate din doi cilindri care se deplasează unul în interiorul celuilalt, prin intermediul unui șurub cu pas mare.

Trimerele cu disc sînt formate din două discuri ceramice pe care sînt depuse straturi de argint. Aceste trimere sînt cele mai răspîndite deoarece sînt ieftine și mici.

Test

1. Două plăci ale unui condensator variabil formează o capacitate de 25 pF. Calculați capacitatea totală a condensatorului variabil care are 10 plăcuțe de stator și 11 plăcuțe de rotor.

a. 250 pF; *c*. 450 pF;
b. 400 pF; *d*. 500 pF.

2. Care este afirmația corectă despre condensatorul cu stiroflex?

a. Este format dintr-o foiță impregnată pe care s-a depus un strat metalic subțire.
b. Sînt condensatoare folosite în filtrajele redresoarelor datorită capacității lor mari.
c. Sînt condensatoare cu constantă dielectrică mare.
d: Au pierderi reduse și sînt utilizate în circuite oscilante de radiofrecvență.

3. Ce valoare are condensatorul ceramic marcat astfel: roșu-violet-maro-negru?

a. 270 pF; *b*. 27 pF; *c*. 27 000 pF.

4. Pe un condensator ceramic este înscris numărul 56. Ce capacitate are?

a. 56 nF; *b*. 56 pF; *c*. 5,6 μF; *d*. 0,56 nF.

5. Un condensator electrolitic se descarcă prin rezistența internă $R_i = 0{,}5$ MΩ. Timpul de descărcare este $t = 50$ s. Care este capacitatea condensatorului electrolitic?

a. 100 μF; *b*. 250 μF; *c*. 360 μF; *d*. 650 pF.

Răspunsuri

1. *b*; 2. *d*; 3. *a*; 4. *b*; 5. *a*.

Capitolul 10

Bobina

10.1. Magnetismul

Alături de rezistoare și condensatoare bobinele sînt componente electronice de primă importanță, fără de care un radioreceptor sau radioemițător nu pot funcționa.

Bobina este formată dintr-un conductor electric izolat înfășurat pe o carcasă. Dacă prin firul din care este formată bobina circulă un curent electric, în bobină apare un cîmp magnetic. Tot așa cum condensatorul acumulează între armăturile sale energie electrică sub formă de cîmp electric, bobina acumulează în interiorul spirelor sale energie sub formă de cîmp magnetic.



Fig. 10.1. Bobine

Fiecare dintre noi a avut în mînă un magnet permanent. Bobinele produc cîmp magnetic asemănător celui produs de magneții permanenți.

Ca și la cîmpul electric putem defini o intensitate a cîmpului magnetic pe care o notăm cu H. Ea depinde de intensitatea curentului care trece prin spirele bobinei de numărul acestora și de construcția bobinei.

În continuare trecem la prezentarea principalilor parametri ai bobinelor.

10.2. Inductanța

Dacă la bornele unei bobine se aplică o tensiune continuă, cu un instrument de măsură se constată că indicația curentului crește lent. Cu alte cuvinte curentul întîrzie. Aceasta se poate demonstra și cu ajutorul montajului din figura 10.2.

Cele două becuri cu incandescență sînt montate în paralel, fiecare avînd în serie o rezistență și respectiv o bobină cu miez de fier (drosel). La aplicarea tensiunii becul înseriat cu bobina se va aprinde mai tîrziu. Această întîrziere se datorește apariției unei tensiuni de sens contrar numită tensiune de autoinducție. Întîrzierea curentului prin bobină este asemănătoare întîrzierii tensiunii pe condensator.

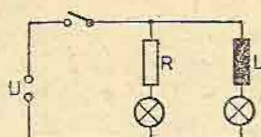


Fig. 10.2. Montaj experimental pentru demonstrarea autoinducției

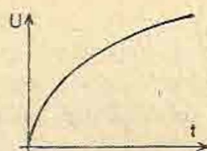


Fig. 10.3. Variații de tensiune pe un condensator

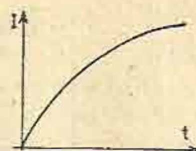


Fig. 10.4. Variația curentului într-o bobină

Această întîrziere depinde de intensitatea cîmpului magnetic creat de bobină. La rîndul său cîmpul magnetic depinde de numărul de spire al înfășurării bobinei, de materialul miezului de fier și de dimensiunile bobinei. Toate acestea definesc ceea ce numim inductanță. Inductanța L, caracterizează orice bobină la fel cum capacitatea caracterizează orice condensator. Inductanța se definește prin relația:

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

unde Φ este fluxul magnetic și I intensitatea curentului.

Unitatea de măsură a inductanței este Henry, notată cu H. Aceasta a fost aleasă în cinstea fizicianului american Josef Henry (1797—1878). Subdiviziunile unității de măsură a inductanței sînt:

1 milihenry = 1 mH = 10^{-3} H
1 microhenry = 1 μH = 10^{-6} H

Pentru bobină se întrebuințează două simboluri. Simbolul mai vechi în forma unei spire se mai utilizează acum mai ales în schemele de înaltă frecvență, iar simbolul nou sub forma unui dreptunghi înnegrit în schemele de joasă frecvență. Nu se consideră o greșeală utilizarea inversă a acestor simboluri, dar se observă tendința de a se generaliza simbolul nou.

Inductanța unei bobine depinde de numărul de spire, dimensiunile geometrice ale bobinei și de calitățile materialului miezului magnetic. Aceste calități definesc așa numita permeabilitate magnetică μ dată de relația:

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

μ_0 — este permeabilitatea magnetică a vidului

μ_r — este permeabilitatea relativă și arată de cîte ori este mai mare inductanța unei bobine dintr-un anumit material față de vid.

Inductanța se calculează *practic* cu formula:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_R \cdot S}{1} \cdot N^2$$

Pentru bobinele confecționate de fabrică pe miezuri și carcase tipizate se dă o mărime mai cuprinzătoare A_L. Aceasta ușurează calculul inductanței deoarece A_L se definește cu relația:

$$A_L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_R \cdot S}{l}.$$

și astfel formula de calcul al inductanței devine:

$$L = A_L \cdot N^2$$

Formula de mai sus se poate justifica și astfel: A_L este inductanța unei singure spire, inductanța unei bobine cu mai multe spire, N, este de N^2 ori mai mare decit A_L.

Exemplu:

Dacă avem la dispoziție un miez de ferită cu $A_L = 0{,}5\ \mu H/sp^2$ cite spire va avea o bobină cu inductanța $L = 5$ mH?

Din relația $L = A_L \cdot N^2$ obținem

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{5\ mH}{0{,}5\ \mu H}} = \sqrt{\frac{5\,000\ \mu H}{0{,}5\ \mu H}} = 10\,000 = 100$$

Rezultă că este nevoie de 100 de spire.

Pentru practica de radioamator trebuie să reținem că o bobină de 1 μH are aproximativ următoarele dimensiuni: 10 mm lungime 10 mm diametru și 12 spire.

De asemenea pentru benzile de radioamatori se folosesc bobine cu următoarele valori (în circuitele oscilante):

Banda 3,5 MHz — 16 μH
Banda 7 MHz — 4 μH
Banda 14 MHz — 1 μH
Banda 28 MHz — 0,3 μH.

6sp -> 0,5μH = 500 nH
3sp -> 0,25μH = 250 nH
1,5sp -> 0,125μH = 125 nH

10.3. Reactanța inductivă a unei bobine

Dacă o bobină este conectată într-un circuit de curent alternativ apare o variație permanentă a intensității curentului care circulă prin circuit și care provoacă o tensiune de autoinducție. Aceasta duce la o micșorare a curentului prin bobină.

La fel ca la condensator se definește și aici o reactanță a bobinei care este raportul dintre tensiunea și curentul alternativ

$$X_L = \frac{U_L}{I_L} \quad \omega L = \frac{U_L}{I_L}$$

Reactanța inductivă definită mai sus depinde de frecvența și de inductanța L a bobinei:

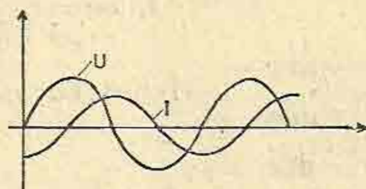


Fig. 10.5. Variația curentului și tensiunii într-o bobină

$$X_L = 2\pi f L = \omega L$$

Dacă L este dat în Henry și f în Hz atunci X_L rezultă în Ohmi. Pentru frecvențe date în MHz și inductanțe de obicei de ordinul μH, reactanța inductivă rezultă direct în Ohmi.

Exemplu:

Să se calculeze reactanța inductivă a unei bobine de 10 H la frecvența rețelei de 50 Hz.

$$X_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 10 = 3140\ \Omega$$

Pentru exercițiu veți calcula reactanța inductivă a aceleiași bobine la 100, 300 Hz și la 1 kHz. Se va observa că reactanța crește odată cu frecvența.

REȚINEM! Reactanța inductivă este direct proporțională cu frecvența.

Trebuie adăugat că între tensiune și curent există un defazaj de 90°. Altfel spus curentul rămîne în urma tensiunii. Aceasta se datorește faptului că la aplicarea unei tensiuni în bobină apare prin autoinducție o contratensiune care se opune curentului, iar acesta începe să circule prin bobină după o anumită întîrziere.

REȚINEM! Inductanța: întîrzie curentul [I]; Capacitatea: întîrzie tensiunea [U].

10.4. Legarea bobinelor în circuite

Calculul inductanței totale a unor bobine necuplate magnetic legate în serie sau în paralel este asemănător calculului pentru rezistențe:



Fig. 10.6. Legarea bobinelor în serie

Pornim de la faptul că tensiunea totală este egală cu suma tensiunilor parțiale

$$U_{L1} = U_{L1} + U_{L2} + U_{L3} + \dots$$

Înlocuind tensiunile funcție de curent și reactanțe inductive:

$$IX_L = IX_{L1} + IX_{L2} + IX_{L3}$$

și simplificînd întreaga relație cu I:

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} \quad \text{sau} \quad \omega L = \omega L_1 + \omega L_2 + \omega L_3$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

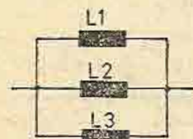


Fig. 10.7. Legarea bobinelor în paralel

Pentru legarea bobinelor în paralel avem egalitatea:

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

iar pentru cazul particular al două bobine:

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

Exemplu: Să se calculeze inductanța totală a două bobine de 3 mH *a*) legate în serie *b*) legate în paralel

a) $L = L_1 + L_2 = 3 + 3 = 6$ mH

b) $L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} = \frac{3 \cdot 3}{3 + 3} = \frac{9}{6} = 1,5 \text{ mH}$$

10.5. Factorul de calitate

Bobinele prezentate pînă acum au o comportare ideală. În practică lucrurile nu se prezintă nicidecum astfel, bobinele depinzînd de o serie de factori care duc la pierderi. Aceste pierderi sînt cauzate de rezistența conductorului înfășurat, la o anumită frecvență, apoi de calitatea dielectricului din care este confecționată carcasa, iar în cele din urmă de capacitățile parazite care apar între două spire alăturate. Corolarul acestor factori care caracterizează foarte bine o bobină este *factorul de calitate* reprezentat matematic de raportul dintre reactanța inductivă și rezistența bobinei:

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

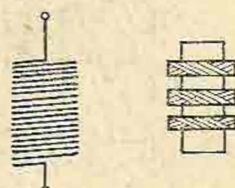
Din această relație rezultă clar că factorul de calitate este cu atît mai bun cu cît rezistența bobinei este mai mică.

10.6. Tipuri constructive de bobine

La construcția unei bobine se ține seamă de inductanță, de frecvența la care va funcționa, precum și de curentul și tensiunea de lucru. O bobină se compune din înfășurare, carcasă, miez și uneori ecran. Există și bobine realizate de fabrici constructoare, dar radioamatorii confecționează de obicei singuri bobinele.

Carcasa se realizează din materiale ușoare, ieftine și cu calități izolante bune: pertinax, hîrtie tare, materiale plastice, ceramică.

Înfășurarea este formată dintr-unul sau mai multe straturi de sîrmă emailată de cupru. Bobinele cu un singur strat ajung pînă la 200—300μ H. Pentru obținerea unor inductanțe mai mari se utilizează bobinele multistrat.


Fig. 10.8. Tipuri constructive de bobine

Pentru creșterea și variabilitatea inductanței unei bobine se introduc miezuri magnetice care de ex. pînă la 30 MHz se confecționează din ferită, iar peste 30 MHz pînă în domeniul UUS se utilizează miezuri cilindrice filetate de dimensiuni foarte mici.

Trebuie reținut că introducerea unui miez de ferită crește inductanța unei bobine.

Pentru scăderea inductanței se utilizează miezuri din materiale diamagnetice precum cuprul, alama sau aluminiul.

După cum am mai amintit mai sus între spirele unei bobine apar capacități nedorite, numite capacități parazite. Pentru evitarea apariției acestora s-au imaginat felurite moduri de bobinaj. În gamele de unde lungi și medii se utilizează bobine cu mai mulți galeți bobinați încrucișat sau altfel spus „universal". Spirele se dispun alăturat dar straturile se întretaie sub un anumit unghi. Acest mod de bobinaj asigură calități foarte bune.

Pentru frecvențe mai înalte se utilizează bobine cu pas variabil iar în domeniul de ultraînaltă frecvență (UIF) bobine sub formă de spirală imprimată pe plăcuțe.

Mai amintim în încheiere și bobinele cu inductanță variabilă în limite largi, numite variometre. Sînt formate din două bobine concentrice, una fixă alta mobilă. Variometrele se folosesc la acord în locul condensatorului variabil în receptoarele montate pe automobile.

10.7. Inductanța mutuală

Dacă două bobine sînt orientate cu axele pe aceeași linie ca în fig. 10.9, curentul care trece prin bobina *1* crează un cîmp magnetic ce străbate și bobina *2*. Dacă intensitatea cîmpului magnetic variază în bobina *2* se induce o tensiune electromotoare. Această tensiune este similară cu tensiunea de autoinducție dar cauza apariției acesteia este efectul de inductanță mutuală dintre cele două bobine.

Dacă fluxul magnetic întretaie toate spirele celei de a doua bobine, inductanța mutuală este maximă. Dacă numai o parte întretaie aceste spire inductanța mutuală este relativ mai mică. Aceste două bobine care prezintă inductanță mutuală sînt cuplate inductiv.

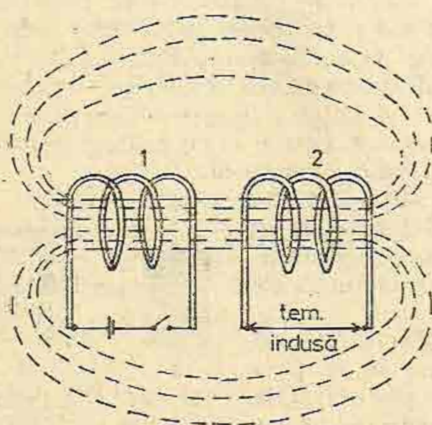


Fig. 10.9. Inductanța mutuală

Pentru două bobine cuplate se definește coeficientul de cuplaj. Pentru un coeficient de cuplaj maxim ($k = 1$) cele două bobine sînt cuplate strîns, iar inductanța mutuală este maximă. Dacă inductanța mutuală este mai mică se spune că bobinele sînt cuplate slab.

Gradul de cuplare a două bobine depinde de spațiul fizic dintre ele și de felul cum sînt plasate una față de alta. Cuplajul maxim se realizează cînd cele două bobine au aceeași axă și sînt bobinate spiră peste spiră. Cuplajul este minim cînd axele sînt perpendiculare sau cînd bobinele sînt depărtate una față de alta.

Coeficientul de cuplaj maxim se realizează cînd cele două bobine sînt bobinate pe același miez. Bobinele cu aer nu pot depăși un coeficient de cuplaj mai mare de 0,6—0,7 și numai dacă sînt bobinate una peste alta.

10.8. Transformatoarele

Un transformator este format din două sau mai multe bobine separate, înfășurate pe aceeași carcasă și cu același miez magnetic (fig. 10.10, realizîndu-se un cuplaj foarte strîns. Funcționarea sa se bazează pe inducția electromagnetică. Considerînd un transformator format numai din două înfășurări. Prin înfășurarea primară circulă curentul I_1 iar la bornele ei este aplicată tensiunea U_1. În înfășurarea secundară se induce tensiunea U_2 și curentul I_2. Mărimea acestora depinde de numărul de spire N. Practic o tensiune sau un curent se transformă într-o altă tensiune sau alt curent.

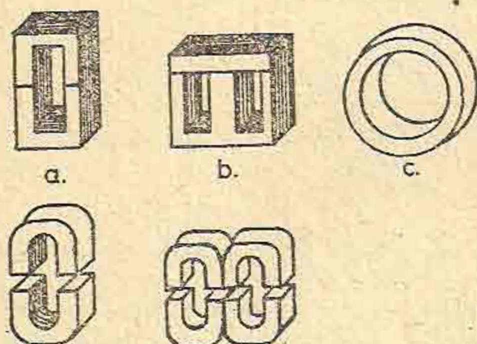


Fig. 10.10. Miezuri magnetice: *a* — coloane; *b* — în manta; *c* — coroidal.

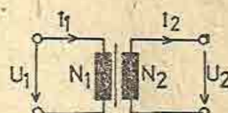


Fig. 10.11. Schema unui transformator

Cele două tensiuni, primară și secundară se află într-un raport de proporționalitate numit raport de transformare și egal cu raportul numerelor de spire.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = n$$

Exemplu: Un transformator de rețea al unui radioreceptor cu tuburi alimentat de la rețeaua de 220 V are o înfășurare secundară de 4 V cu 16 spire.

a) Care este raportul de transformare al transformatorului?

b) Cîte spire va trebui să aibă o înfășurare secundară pentru o tensiune de 6,3 V?

Rezolvare: a) $n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220\ \text{V}}{4\ \text{V}} = 55$

Raportul de transformare este 55:1

b) $\frac{N_x}{N_2} = \frac{U}{U_2}$ $N_x = \frac{U \cdot N_2}{U_2} = \frac{6,3}{4} \cdot 16 = 25,2$ spire

Deci vom face o nouă înfășurare de 25 de spire sau vom adăuga la cea existentă $25 - 16 = 9$ spire.

Calculele de dimensionare a unui transformator sînt destul de laborioase și de aceea vom da mai departe doar cîteva relații mai uzuale. Vom considera că transferul de energie dintre primar și secundar se face fără pierderi. Un astfel de transformator este considerat transformator ideal. Neavînd pierderi:

$$P_1 = P_2 \quad \text{sau} \quad U_1 I_1 = U_2 I_2$$

De aici avem:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = n \quad \text{sau} \quad n = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Se observă că raportul curenților este invers raportului tensiunilor. Aceste relații se pot extinde și la rezistențele înfășurărilor:

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{U_1^2}{R_1} = \frac{U_2^2}{R_2} \qquad \frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{U_1^2}{U_2^2} = \frac{R_1}{R_2} \qquad n^2 = \frac{R_1}{R_2}$$

Transformatoarele se utilizează foarte adesea în etajele de alimentare sau ca dispozitive de cuplaj pentru semnal audio.

Transformatorul de alimentare sau altfel numit transformatorul de rețea, este întrebuințat pentru obținerea mai multor tensiuni de valori diferite care urmează a fi redresate, adică transformate în tensiuni continue. Transformatoarele de rețea lucrează la frecvența rețelei de 220 V, deci la 50 Hz. În aparatura de bord a avioanelor frecvența tensiunii de alimentare este 400 Hz.

Transformatoarele de semnal pot fi utilizate în domenii de frecvențe mai înalte, pînă la sute de kiloherzi.

Mai există și categoria transformatoarelor de adaptare utilizate la modificarea impedanței circuitelor de intrare, de ieșire sau de cuplaj.

10.9. Comparație între condensator și bobină

CONDENSATOR	BOBINA
Intensitatea cîmpului electric	Intensitatea cîmpului magnetic
$E = \frac{U}{d}$	$H = \frac{NI}{l}$
Capacitatea $C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_r A}{d}$	Inductanța $L = \frac{\mu_0 \mu_r A}{l} N^2$
Constanta dielectricului	Permeabilitatea magnetică
$\varepsilon = \varepsilon \cdot \varepsilon_r$	$\mu = \mu_0 \mu_r$
$\varepsilon_{vid} = 8{,}859 \frac{pF}{m}$	$\mu_0 = 1{,}25 \frac{\mu H}{m}$
Unitatea de măsură 1 Farad (1F)	Unitatea de măsură 1 Henry (1H)
Reactanța capacitivă	Reactanța inductivă
$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$	$X_L = 2\pi f L$

Reactanța capacitivă este invers proporțională cu frecvența

Legare în paralel

$$C = C_1 + C_2 + C_3 ...$$

Legarea în serie

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Legarea în serie a două condensatoare

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Reactanța inductivă este direct proporțională cu frecvența

Legarea în serie

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + ...$$

Legarea în paralel

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

Legarea în paralel a două bobine

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

Test

1. Două bobine, de 500 μH și 1 mH sînt conectate în serie. Ce inductanță are ansamblul?

a. 501 μH; *c.* 1500 mH
b. 1500 μH; *d.* 333 μH

2. Care este impedanța unei bobine de 1 Henry la 50 Hz?

a. 159 Ω; *c.* 31.4 Ω
b. 314 Ω; *d.* 3140 Ω

3. Dacă se dublează numărul de spire ale unei bobine, dimensiunile rămînînd aceleași, cum variază inductanța bobinei

a. se dublează *c.* crește de patru ori
b. se înjumătățește *d.* scade la un sfert din valoare

4. Dacă spirele unei bobine se îndepărtează astfel încît lungimea sa se dublează, valoarea sa

a. se dublează *c.* crește de 4 ori
b. se înjumătățește *d.* scade la un sfert din valoare

5. Pe secundarul unui transformator care are 12 spire se măsoară o tensiune de 6 V. Cîte spire trebuie adăugate pentru a avea la bornele secundarului o tensiune de 9 V?

a. 9 spire *c.* 6 spire
b. 12 spire *d.* 4,5 spire

6. Ce efect are înfășurarea bifilară?

a. O inductanță dublă.
b. Lipsa capacităților parazite
c. Pierderi mici
d. Nu prezintă inductanță.

Răspunsuri

1. *b*; 2. *b*; 3. *c*; 4. *b*; 5. *b*; 6. *d*;

Capitolul 11

Circuite oscilante

11.1. Oscilația

Pînă acum am prezentat numai componente de circuite separate, cum au fost rezistorul, condensatorul și bobina. În cele ce urmează vom face cunoștință cu unul dintre cele mai importante circuite din radiotehnică, circuitul oscilant.

Un circuit oscilant este format dintr-un condensator și o bobină. După modul cum sînt legate bobina și condensatorul, deosebim circuite oscilante serie și circuite oscilante paralel (derivație).

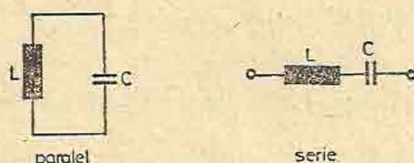


Fig. 11.1. Circuite oscilante

Bobina și condensatorul sînt componente electronice care acumulează energie pe care după un timp o cedează. Condensatorul acumulează prin încărcare energie electrică sub formă de cîmp electric. Bobina acumulează energie sub formă de cîmp magnetic. Aceasta este foarte clar pus în evidență prin scînteile care se produc la desfacerea unui contact al unui releu.

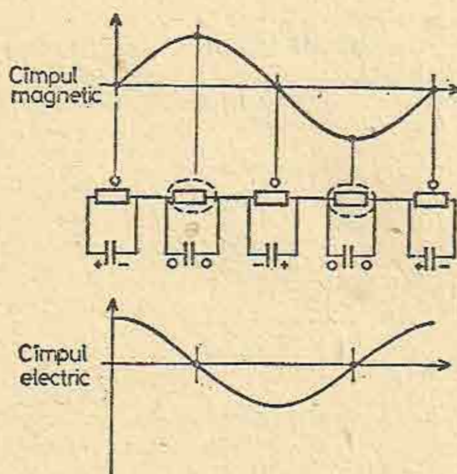


Fig. 11.2. Explicația intuitivă a transferului de energie între bobină și condensatorul unui circuit oscilant

Dacă un condensator încărcat este conectat la bornele unei bobine acesta se va descărca prin bobină. Curentul care circulă prin bobină crează un cîmp magnetic, în timp ce cîmpul electric din condensator dispare. La sfîrșitul descărcării întreaga energie este acumulată sub formă de cîmp magnetic. În momentul cînd nu mai circulă curent prin circuit cîmpul magnetic începe să se destrame, în bobină producîndu-se o tensiune de autoinducție. Datorită acesteia apare un curent care reîncarcă în sens invers condensatorul. Dacă circuitul oscilant

nu ar avea pierderi, întreaga energie s-ar transfera din bobină în condensator și invers, iar oscilațiile ar avea aceeași amplitudine.

Dar o bobină este formată dintr-un fir de cupru care prezintă întotdeauna o rezistență ohmică și prin ea se pierde energie datorită încălzirii bobinei. De aceea amplitudinea oscilațiilor se atenuează. Avem deci oscilații amortizate. Pentru a obține oscilații întreținute trebuie să introducem energie din afară.

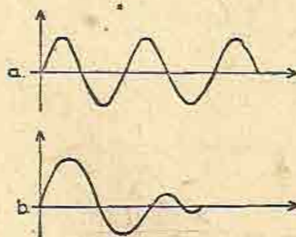


Fig. 11.3. Oscilații întreținute și oscilații amortizate

11.2. Rezonanța

Durata unei oscilații depinde de mărimea capacității și a inductanței. Dacă un condensator are o capacitate mare se va descărca foarte lent și deci frecvența oscilațiilor va fi mică.

Regimul cel mai avantajos apare atunci cînd reactanța capacitivă X_c este egală cu reactanța inductivă X_L. Aceasta stare se numește rezonanță și se exprimă matematic cu relația:

$$X_L = X_c.$$

Dar acum știm că $X_L = \omega L$ și $X_c = \frac{1}{\omega C}$ și efectuînd înlocuirile în formulă de mai sus avem succesiv:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}; \quad \omega^2 = \frac{1}{LC}; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Deoarece $\omega = 2\pi f$ putem afla frecvența de rezonanță

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Această formulă este una dintre cele mai importante în domeniul nostru și a fost descoperită de către fizicianul englez Wiliam Thompson (1824–1907).

Dacă inductanța este exprimată în Henry și capacitatea în Farazi frecvența se obține în Hertzi. Putem utiliza o formă mai comodă pentru cazul cînd inductanța se dă în μH și capacitatea în pF.

$$f_r = \frac{159}{\sqrt{LC}}.$$

Factorul 159 apare în felul următor: $10^6 = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-6}10^{-12}}}$

$$10^6 = \frac{1}{2\pi 10^{-3}} \Rightarrow \frac{1\,000}{2\pi} = 159.$$

Exemplu: Să se calculeze frecvența de rezonanță a unui circuit cu $L = 5\ \mu H$ și $C = 500$ pf

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{5 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 10^{-12}}} = 3{,}2 \cdot 10^6 = 3{,}2 \text{ MHz}$$

sau cu formula practică:

$$f_r = \frac{159}{\sqrt{5 \cdot 500}} = \frac{159}{50} = 3{,}2 \text{ MHz}.$$

Problemă: Cum se modifică frecvența de rezonanță dacă mărim de 4 ori capacitatea condensatorului din circuitul oscilant de mai sus?

$$f_r = \frac{159}{\sqrt{5 \cdot 2\,000}} = \frac{159}{100} = 1{,}59 = 1{,}6 \text{ MHz}.$$

REȚINEM: *Dacă mărim de patru ori capacitatea unui condensator dintr-un circuit oscilant frecvența scade la jumătate* — *și* INVERS, *dacă micșorăm de patru ori capacitatea frecvența se va dubla. Același lucru este valabil și pentru inductanță.*

Pentru calculul rapid al frecvenței de rezonanță au fost concepute nomograme speciale (Fig. 11.4)

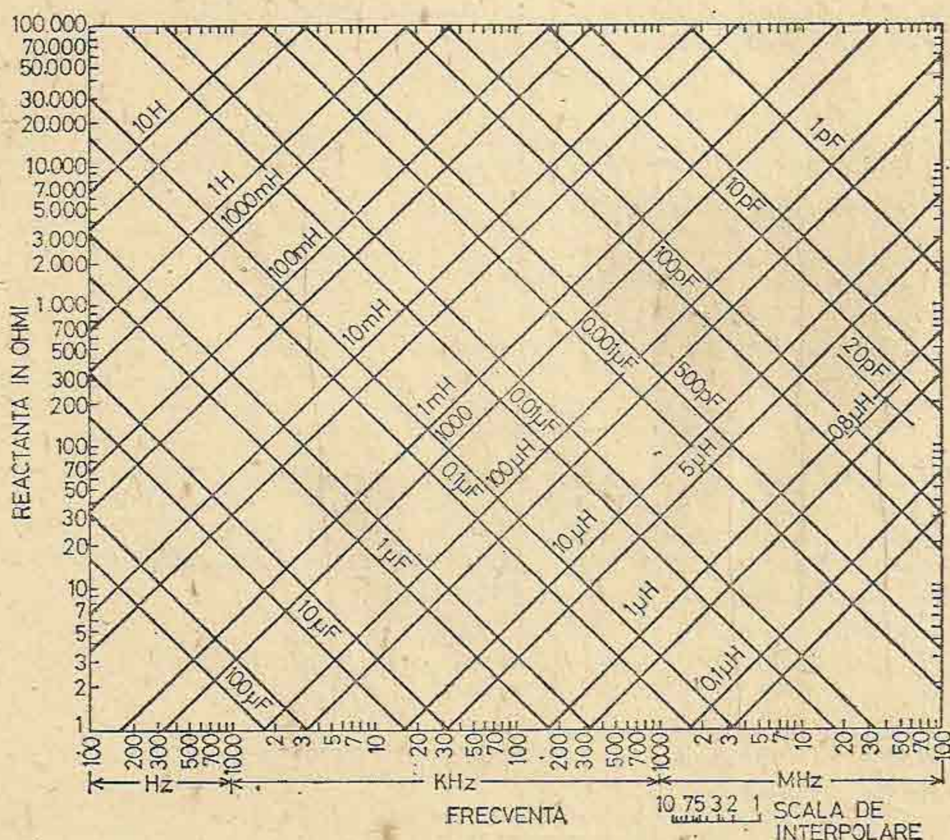


Fig. 11.4. Nomograme de calcul a circuitelor rezonante

Cu ajutorul acestei nomograme se poate afla reactanța unei bobine sau a unui condensator precum și frecvența de rezonanță a unui circuit oscilant.

Se observă că liniile oblice dau valorile în multipli de 10, iar liniile intermediare marchează jumătatea intervalului. Deci între 1 μF și 10 μF linia intermediară marchează 5 μF. Jos în dreapta diagramei este dată scala de interpolare pentru valori între 1 și 10.

Să verificăm rezultatele problemei de mai sus. Deci care este frecvența de rezonanță a circuitului oscilant cu $L = 5$ μH și $C = 500$ pF. Marcăm intersecția dintre linia de 5 μF și linia de 500 pF. Din punctul de intersecție coborîm o perpendiculară pe axa frecvențelor și obținem 3,2 MHz.

Aceeași problemă pentru $C = 20$ pF și $L = 0{,}8$ μH. De pe scala de interpolare luăm cu o riglă sau un compas distanța pentru 2 (20 pF și de asemeni pentru 8 (0,8 μF) și trasăm paralele la linia de 10 F și respectiv la linia de 1μH. La intersecția acestor linii găsim pe perpendiculară frecvența de 40 MHz.

Pentru a vă familiariza cu această nomogramă verificați datele înscrise în tabelul de mai jos.

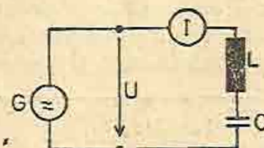
10 nF	270 pF	56 pF	20 pF
100 mH	100 μH	20 μH	0,8 μH
5 kHz	0,9 MHz	4,75 MHz	40 MHz

11.3. Circuitul rezonant serie

Dacă bobina și condensatorul sînt conectate în serie vor forma un circuit oscilant serie.

Construim un montaj format în principal dintr-un circuit oscilant serie cu L = 100 mH și $C = 10$ nF. În serie cu circuitul oscilant conectăm un miliampermetru, iar în paralel, un voltmetru, La bornele acestui circuit aplicăm

Fig. 11.5. Montaj experimental în circuit oscilant serie



un semnal de joasă frecvență de la un generator adecvat (100 Hz — 20 kHz). Căutăm să menținem tensiunea semnalului de ieșire constantă și vom măsura curentul pentru cîteva frecvențe între 1 și 10 kHz. În tabelul următor sînt date și valorile impedanței circuitului la frecvențele indicate

Frecvența [kHz]	1	2	3	4	4,5	5	5,3	6	7	10
Curentul [mA]	3	5	8	16	70	100	70	20	12	5
Impedanța [Ω]	835	500	312	156	35,7	25	35,7	125	208	500

Dacă trecem aceste valori pe hîrtie milimetrică obținem curbele de rezonanță ale curentului și impedanței. Se observă că la 5 kHz, frecvența de rezonanță, curentul are un maxim iar impedanța un minim.

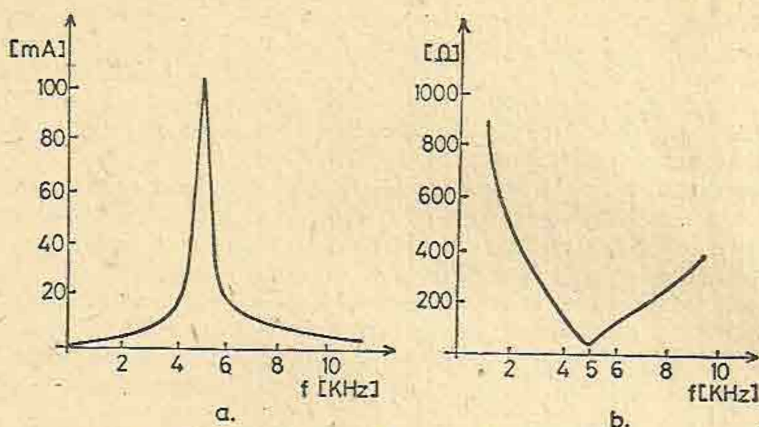


Fig. 11.6. Curbele de rezonanță ale unui circuit rezonant serie
a) curentul; *b)* impedanța



REȚINEM: *La rezonanță impedanța unui circuit rezonant serie este minimă.*

De aceea aceste circuite se folosesc la rejecția unor anumite frecvențe perturbatoare. Se montează în paralel cu intrarea radioreceptoarelor. Pentru frecvența de rezonanță aceste circuite se comportă ca un scurtcircuit.

11.4. Circuitul rezonant paralel

De data aceasta folosim aceleași elemente de circuit, cu deosebirea că bobina și condensatorul vor fi legate în paralel. Pentru menținerea curentului constant vom monta în serie cu generatorul de ton o rezistență mare, de cca 1 MΩ. În continuare vom măsura tensiunea la bornele circuitului rezonant cu ajutorul unui voltmetru electronic pentru diferite frecvențe audio. Rezultatele sînt trecute în tabelul de mai jos.

Frecvența kHz	1	2	3	4	5	6	7	10
Tensiunea V	0,02	0,04	0,06	0,1	1	0,1	0,01	0,05
Impedanța Ω	6	15	20	33	333	5,3	33	16

Trecînd valorile din tabel pe hîrtie milimetrică obținem curbele de rezonanță pentru tensiune și impedanța circuitului rezonant paralel.

REȚINEM: *La rezonanță impedanța circuitului rezonant paralel este maximă. De asemeni tensiunea atinge valoarea maximă.*

Datorită acestei proprietăți circuitul oscilant paralel se utilizează în amplificatoarele de radiofrecvență. La rezonanță tensiunea semnalului amplificat atinge valoarea maximă. Dar despre aceasta vom vorbi mai tîrziu.

Banda de trecere a circuitului rezonant. Circuitul rezonant paralel se montează în circuitul de ieșire al amplificatoarelor de radiofrecvență și lucrează ca rezistență de sarcină. Dar nu ar fi avantajos să se amplifice o singură frecvență, ci o întreagă bandă de frecvențe.

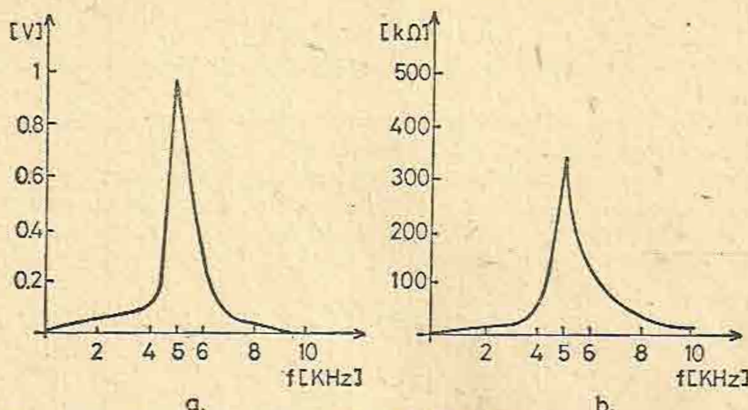


Fig. 11.7. Curbele de rezonanță ale unui circuit rezonant paralel: *a)* curentul; *b)* impedanța

Lărgimea de bandă a unui circuit este intervalul de frecvențe în care impedanța sau tensiunea scade la 0,707 din valoarea maximă (sau 70% din valoarea maximă).

Lărgimea de bandă a unui circuit rezonant depinde de factorul de calitate Q al circuitului. Deoarece pierderile condensatorului sînt neglijabile la frecvențe joase și medii, factorul de calitate este influențat de pierderile bobinei. Calculele sînt destul de anevoioase și depășesc cadrul acestei cărți. Pentru necesitățile practice vom da relații de calcul a lărgimii de bandă cînd se cunosc frecvența de rezonanță și factorul de calitate.

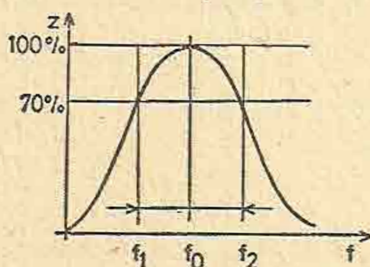


Fig. 11.8. Lărgimea de bandă a unui circuit oscilant paralel

$B = \frac{f_r}{Q}$. De multe ori B se notează cu Δf.

Pentru ca un amplificator de radiofrecvență să aibă o bandă îngustă (adică să fie foarte selectiv) trebuie ca circuitul rezonant să aibă un factor de calitate mare. Pentru etejele de frecvență intermediară se aleg de obicei frecvențe mai joase.

11.6. Circuite cuplate — Filtre de bandă

Prin cuplarea a două sau mai multe circuite rezonante paralel se formează filtrele de bandă. Aceste dispozitive lasă să treacă o anumită bandă de frecvențe și blochează alte frecvențe. În principiu aceste circuite prezintă o impedanță foarte mică în banda de trecere.

Circuitele oscilante se pot cupla inductiv, capacitiv sau chiar galvanic.

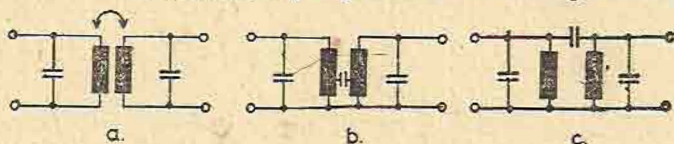


Fig. 11.9. Circuite cuplate

Modul de lucru al unui filtru de bandă este caracterizat de factorul de cuplaj. În funcție de cuplaj avem un transfer de putere mai mult sau mai puțin bun.

Curbele din figura alăturată exprimă cuplajele dintre circuitele oscilante ale unui filtru trece bandă. Curba cu maximul aplatizat caracterizează cuplajul critic. În acest caz se realizează transferul maxim de putere în cel de-al doilea circuit rezonant. Cuplajul supracritic are o formă de șa, cu adîncitura în jurul frecvenței de rezonanță. Cuplajul subcritic are o curbă asemănătoare curbei de rezonanță a unui singur circuit oscilant. Un cuplaj foarte slab dovedește că prin el se pierde energie.

Cel mai nedorit cuplaj este cel supracritic; cuplajul subcritic realizează o bandă de trecere foarte îngustă.

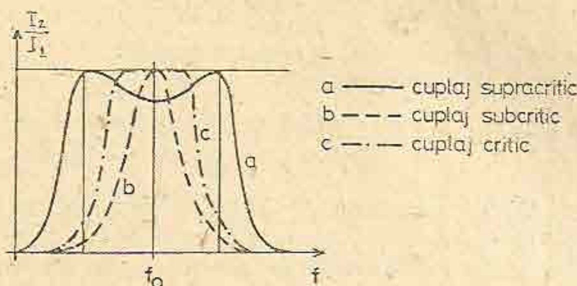


Fig. 11.10. Curbele caracteristice pentru circuite cuplate

Filtrele trece bandă se folosesc pentru cuplajul etajelor de amplificare a frecvenței intermediare din radioreceptoare. În emițătoare aceste filtre sînt folosite pentru atenuarea produselor de modulație nedorite, precum și a armonicelor.

11.7. Extensia de bandă

În practică apare adesea problema extensiei de bandă a unui receptor mai ales în domeniul undelor scurte. În serie sau în paralel cu condensatorul variabil al unui circuit rezonant se montează un condensator suplimentar.

Să considerăm un condensator variabil cu capacitatea între 10 și 250 pF. Pentru simplitatea calculelor să considerăm că bobina are 10 μH. Să calculăm limitele benzii acoperite de acest circuit.

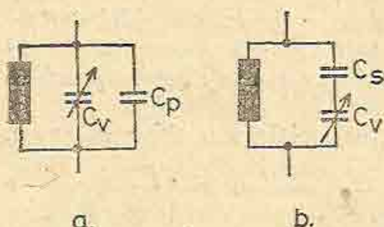


Fig. 11.11. Extensia de bandă: *a)* cu condensator în paralel; *b)* cu condensator în serie

$$f_{max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_{min}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-12}}} = 15{,}9 \text{ MHz};$$

$$f_{min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C_{max}}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 250 \cdot 10^{-12}}} = 3{,}18 \text{ MHz}.$$

Deci acest circuit va acoperi un domeniu între 3 și 15 MHz, deci un raport de 1 : 5 între frecvențe.

Pentru a simplifica lucrurile vom împărți membru cu membru formula lui Thompson pentru frecvențele extreme.

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{\dfrac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot C_{min}}}}{\dfrac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot C_{max}}}} = \frac{\sqrt{L\cdot C_{max}}}{\sqrt{L\cdot C_{min}}};$$

$$\boxed{\frac{f_{max}}{f_{min}} = \sqrt{\frac{C_{max}}{C_{min}}}.}$$

Exemplu:

Se dă frecvența minimă 3 MHz și $C = 10 \div 250$ pF. Se cere f_{max}

$$f_{max} = \sqrt{\frac{250}{10}} \cdot 3 \text{ MHz} = 5 \cdot 3 \text{ MHz} = 15 \text{ MHz}$$

Observăm că pentru un raport al capacităților de 1:25 obținem un raport al frecvențelor 1:5.

REȚINEM: *Raportul frecvențelor este egal cu rădăcina pătrată a raportului capacităților*

Pentru recepția emisiunilor de radioamatori este necesară o bandă de trecere îngustă. Cum să îngustăm banda de intrare a receptorului la numai 0,5 sau 1 MHz? Pentru a menține același condensator variabil va trebui să montăm în paralel cu acesta un condensator fix.

Exemplu:

Considerăm $f_{min} = 3$ MHz și $C_p = 300$ pF
Cele două condensatoare în paralel dau:

$$C_{min} = C_{v\,min} + C_p = 10 \text{ pF} + 300 \text{ pF} = 310 \text{ pF}$$

$$C_{max} = C_{v\,max} + C_p = 250 \text{ pF} + 300 \text{ pF} = 550 \text{ pF}$$

$$f_{max} = \sqrt{\frac{550}{310}} \cdot 3 \text{ MHz} = 4 \text{ MHz}.$$

Deci prin montarea în paralel a condensatorului C_p se reduce banda de trecere între 3 și 4 MHz în loc de 3 și 15 MHz.

Uneori avem nevoie să calculăm capacitatea suplimentară pentru o bandă bine delimitată. Formula de calcul a capacității C_p este:

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = \sqrt{\frac{C_v + C_{p\,max}}{C_v + C_{p\,min}}}.$$

După ridicarea la pătrat a întregii relații rezolvăm ecuația în funcție de C_p și obținem:

$$C_p = \frac{C_{v\,max} - \left(\dfrac{f_{max}}{f_{min}}\right)^2 \cdot C_{v\,min}}{\left(\dfrac{f_{max}}{f_{min}}\right)^2 - 1}.$$

Asemănător pentru condensatorul serie obținem relația de calcul

$$C_s = C_{v\,max} \frac{\left(\frac{f_{max}}{f_{min}}\right)^2 - 1}{\frac{C_{v\,max}}{C_{v\,min}} - \left(\frac{f_{max}}{f_{min}}\right)^2}.$$

Exemplu:

Dacă se cere o extensie de bandă în limitele $f_{min} = 3{,}5$ MHz și $f_{max} = 3{,}8$ MHz să se calculeze C_p și L cînd $C_v = 10 \ldots 250$ pF

$$C_p = \frac{250 - \left(\frac{3{,}8}{3{,}5}\right)^2 \cdot 10}{\left(\frac{3{,}8}{3{,}5}\right)^2 - 1} = \frac{250 - 1{,}18 \cdot 10}{1{,}18 - 1} = 1320 \text{ pF}.$$

La frecvența cea mai înaltă $f = 3{,}8$ MHz capacitatea este $1320 + 10 = 1330$ pF. Din formula lui Thompson calculăm inductanța L

$$L = \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot C} = \frac{1}{(2\pi \cdot 3{,}8 \cdot 10^6)^2 \cdot 1330 \cdot 10^{-6}} = 1{,}5\ \mu\text{H}.$$

Poate acest capitol pare mai mult matematizat, dar în practica radioamatorilor asemenea probleme nu pot fi evitate și de aceea trebuie stăpînit un aparat matematic minim.

Pentru a vă verifica însușirea acestor noțiuni prezentăm mai jos un set de 10 întrebări și probleme.

Probleme

1. Desenați caracteristica de frecvență a impedanței unui circuit rezonant serie și a unui circuit paralel. Marcați frecvența de rezonanță.

2. Un circuit oscilant paralel are rezonanța la 14 MHz. Dacă păstrăm capacitatea condensatorului 100 pF și aceeași inductanță a bobinei ce capacitate trebuie să aibă condensatorul paralel necesar?

3. Un circuit rezonant serie are capacitatea condensatorului de 60 pF și rezonanța la 7 MHz. Ce capacitate trebuie să adăugăm în paralel pentru ca circuitul să rezoneze la 3,5 MHz?

4. Un circuit oscilant are o capacitate a condensatorului de 200 pF iar rezonanța la 3,5 MHz. Care va fi frecvența de rezonanță pentru o capacitate de 100 pF?

5. Cum variază frecvența de rezonanță a unui circuit oscilant a cărei inductanță se micșorează la jumătate și se dublează capacitatea?

6. Definiți factorul de calitate al unui circuit rezonant.

7. Desenați caracteristica de frecvență a unui circuit rezonant paralel a unui filtru de bandă cu un cuplaj critic și cu un cuplaj supracritic.

8. Un filtru de bandă are frecvențele limită $f_1 = 195{,}5$ kHz și $f_2 = 204{,}5$ kHz.

   a) calculați banda de trecere a filtrului.

   b) Care este factorul de calitate al circuitului?

9. Enunțați proprietățile și utilizările filtrelor trece bandă.

10. Cum variază factorul de calitate al unui circuit rezonant dacă rezistența parazită crește?

Răspunsuri

1. Variația impedanței funcție de frecvență a unui circuit rezonant serie și a unui circuit rezonant paralel în fig. 11. 12 și fig. 11.13. cu 50%, = 1/2 = 0,5

2. Pentru ca frecvența de rezonanță să scadă la jumătate capacitatea trebuie să crească de patru ori, deci $C = 400$ pF. Condensatorul paralel va trebui să aibă 300 pF

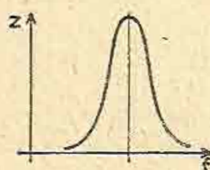


Fig. 11.12.

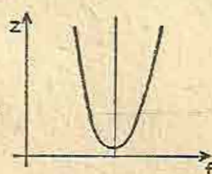


Fig. 11.13.

3. $C_p = (4 - 1)\,C = 3 \cdot 60 = 180$ pF

4. $\dfrac{f_2}{f_1} = \dfrac{C_2}{C_1} = \dfrac{200}{100} = 2 = 1{,}41$

$$f_2 = 2 \cdot f_1 = 1{,}41 \cdot 3{,}5 = 4{,}95 \text{ MHz}$$

5. Frecvența de rezonanță rămîne aceeași

6. Factorul de calitate este exprimat de relația $Q = \dfrac{f_{rez}}{\Delta f}$

7. Curbele filtrelor de bandă pentru diferite cuplaje în fig. 11.14

8. $\Delta f = f_2 - f_1 = 204{,}5 - 195{,}5 = 9$ kHz

$$Q = \frac{f_{rez}}{\Delta f} = \frac{200 \text{ kHz}}{9 \text{ kHz}} = 22{,}2$$

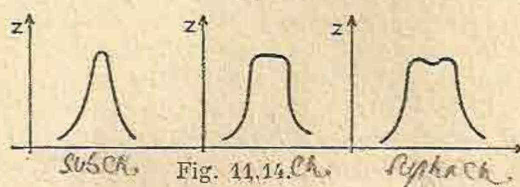


Fig. 11.14.

9. Filtrele de bandă permit trecerea unei benzi de frecvențe și atenuează pe cele din afara acestei benzi. Sînt formate din două sau mai multe circuite oscilante care pot fi cuplate inductiv capacitiv sau galvanic. Lărgimea de bandă depinde de factorul de calitate, de cuplaj și de modul de acord al circuitelor oscilante. Circuitele rezonante cuplate se utilizează în amplificatoarele de frecvență intermediară ale radioreceptoarelor. În emițători se utilizează pentru atenuarea armonicilor.

10. Factorul de calitate scade cu creșterea rezistenței parazite.

$0{,}5x = 5{,}5$
$x = \frac{5{,}5}{6{,}5}$

$f_1 = 6{,}5$ MHz
$f_2 = 5{,}5$ MHz

f scade cu 15,38462 %
6,5 — 100%
5,5 — x

$f < 50\%$
$C > 4$

$f = \frac{f}{2}$
$C = 4C$

$f = 0{,}5f$
$C = 4C$

$f = 0{,}846f$
$C = ?$

$f < 15{,}4\%$
$C ?$

0,5 — 4
0,8 — x

$6{,}5 \times 0{,}84615 = 5{,}5$

50% — 4C
15,38462 — xC
$x = 1{,}23C$

f 0,5 — 4C
f 0,8 — x

$46{,}09 = 33x$

$L = 18{,}132$ µH

Capitolul 12

Materiale semiconductoare. Dioda

12.1. Materiale semiconductoare

În acest capitol ne vom ocupa în principal de diodă, funcționarea sa și utilizarea diodei în circuite electronice. Dar în primul rînd trebuie să facem cunoștință cu materialele semiconductoare. Este cunoscută deosebirea dintre materialele bune conducătoare de electricitate și materialele izolante. Materialele conductoare sînt metale, iar cele izolante — materiale precum sticla porțelanul, lemnul, etc. Există și corpuri solide a căror conductivitate este mai slabă decît a metalelor, dar mult mai bună decît a izolatoarelor. Aceste materiale se numesc semiconductoare. Din ele se fabrică de o bună bucată de vreme componente electronice precum diodele, tranzistoarele, circuitele integrate. În tehnica materialelor semiconductoare se utilizează germaniul, seleniul, arseniura de galiu, fosfatul de indiu, antimoniura de iridiu, dar cea mai largă utilizare a căpătat-o siliciul.

Materialele semiconductoare au o structură cristalină, ceea ce presupune o dispunere a atomilor într-o rețea cu formă geometrică bine determinată. Cele mai importante materiale semiconductoare, germaniu și siliciu au o structură de tetraedru regulat ale cărui vîrfuri sînt situate în colțurile unui cub. Astfel fiecare atom al cristalului are în vecinătatea sa alți patru atomi. Această structură este caracteristică pentru semiconductoare. Într-o structură pur cristalină toți electronii de valență (vezi capitolul 1) sînt legați. La temperaturi joase materialele semiconductoare se comportă ca izolatoarele, dar la temperaturi obișnuite devin extrem de puțin bune conducătoare de electricitate.

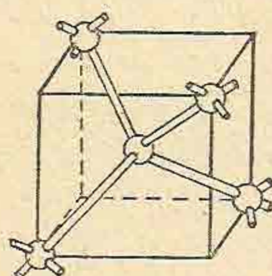


Fig. 12.1. Structura cristalului pentru materiale semiconductoare

Aceste considerații se referă la materialele foarte pure. Dacă în mod voit în rețeaua cristalină atomii originali sînt înlocuiți cu atomii unor elemente străine pe care le numim impurități, atunci echilibrul din structura cristalină se deranjează atît de mult încît conductibilitatea crește remarcabil. Trebuie subliniat că gradul de puritate se situează între 10^{-10} (germaniu) și 10^{-20} (siliciu), ceea ce constituie o puritate deosebit de ridicată. Pentru a înțelege mai bine această cerință, vom face o comparație: într-un tren care transportă boabe de porumb este permisă existența numai a unui bob stricat.

Dacă temperatura unui semiconductor crește, mișcările de oscilație ale atomului se amplifică, iar legăturile electronilor de valență se rup. În acest

fel apar electroni liberi și conductivitatea crește. Această conductivitate se numește conductivitate proprie semiconductoarelor. Creșterea conductivității proprii semiconductoarelor odată cu temperatura este foarte dăunătoare în funcționarea diodelor semiconductoare și a tranzistoarelor.

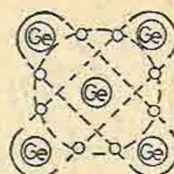


Fig. 12.2. Reprezentare simplificată a legăturii atomice în germaniu

Atomii de germaniu și siliciu au patru electroni de valență. Prin introducerea unor atomi cu cinci electroni de valență, de exemplu antimoniu, se perturbă echilibrul structurii rețelei cristaline. Aceste impurități se numesc atomi donori. Deoarece al cincilea electron de valență nu are legături în rețeaua cristalină în care a fost introdus, el se va mișca liber în rețea, chiar la temperaturi joase. Astfel cristalul devine semiconductor fără creșterea temperaturii. Deoarece conductivitatea se realizează cu electroni liberi de sarcină negativă, vom vorbi de materiale semiconductoare de tip n. Prin introducerea unor atomi cu trei electroni de valență (de exemplu indiu) se perturbă din nou echilibrul structurii cristaline a materialului. De data aceasta lipsește un electron de valență care să împlinească legătura în rețeaua cristalină. Aceste locuri „vacante" (goluri) pot fi ocupate de electroni ai atomilor vecini astfel încît vor apare goluri în alte locuri. Electronul lipsă, este ca un purtător de sarcină electrică. Deoarece lipsa unui electron duce la apariția unei sarcini pozitive, se poate spune că golurile sînt purtătoare de sarcini pozitive. În acest caz avem de-a face cu un semiconductor de tip p.

Să ne închipuim o sală de cinematograf, iar în mijlocul unui rînd un loc liber (golul). Fiecare spectator (electron) se poate muta cu cîte un loc astfel încît locul liber se deplasează în direcție opusă. Deci golurile se deplasează în direcție opusă deplasării electronilor, respectiv în sens invers față de sensul convențial curentului electric.

12.2. Joncțiunea p-n

Să presupunem un semiconductor dotat într-o parte cu impurități trivalente (tip p), iar cealaltă parte cu impurități pentavalente (tip n). La limita dintre cele două zone apare așanumita joncțiune p-n. Totuși cele două zone formează o singură rețea cristalină. Din cauza distribuției neuniforme electronii majoritari din zona n difuzează dincolo de suprafața joncțiunii și se vor combina cu golurile care sînt purtători majoritari în zona p. La fel se petrec lucrurile și cu golurile din zona p.

În jurul planului de separație apare o regiune de sarcină spațială formată din ioni pozitivi (în urma plecării electronilor din zona n) și negativi (în urma plecării golurilor din zona p) care nu mai sînt compensați de sarcina purtătorilor liberi. Pe o fișie foarte îngustă, de ordinul micronilor, se exercită o barieră de potențial care anulează transportul de goluri și de electroni ajungîndu-se la o stare de echilibru. Deosebirea de încărcare crează o tensiune de barieră care are valori între 0,2 și 0,4 V la germaniu și 0,6—0,8 V la siliciu.

Dacă pe o joncțiune p-n se aplică o tensiune astfel încît polul pozitiv al sursei este legat la zona n și polul negativ la zona p, golurile din zona p se

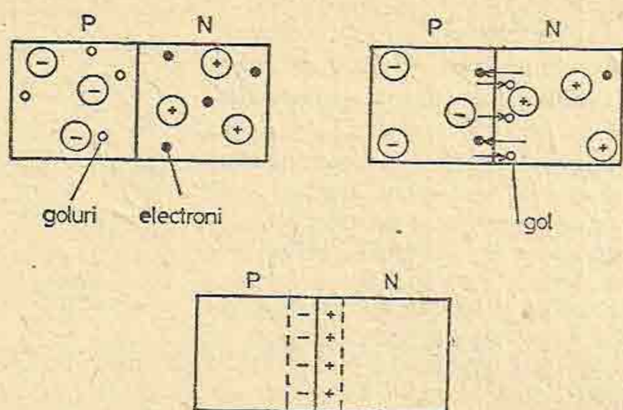


Fig. 12.3. Procesul de formare al joncțiunii p-n

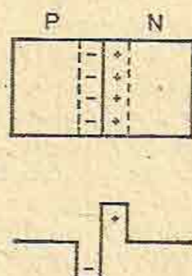


Fig. 12.4. Variația sarcinii în zona barierei de potențial

vor deplasa spre — (minus) și electronii structurii n spre polul + (plus). Sarcinile de semn contrar se atrag și limitele barierei de potențial se lărgesc. Joncțiunea pn este polarizată invers. Prin ea circulă un curent foarte mic, numit curent invers și este de ordinul a cîțiva microamperi (germaniu) sau nano amperi (siliciu). Abia la o creștere importantă a tensiunii inverse curentul crește brusc și joncțiunea se străpunge.

Dacă polarizăm joncțiunea în sens direct, plusul la p și minusul la n, tensiunea aplicată din exterior va avea sensul contrar tensiunii de barieră. Înălțimea barierei de potențial scade și prin joncțiune trece un curent important. Spunem că joncțiunea este polarizată în sensul de conducție electrică.

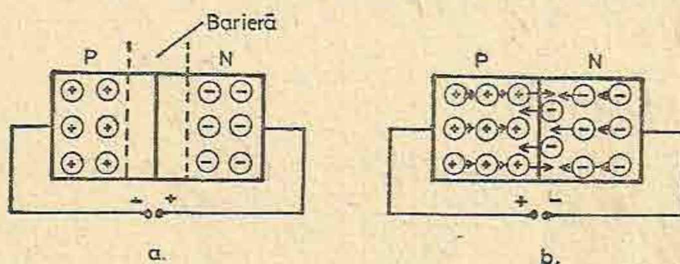


Fig. 12.5. Joncțiunea -pn polarizată; *a)* în sens invers; *b)* în sens direct

Semiconductorul cu o joncțiune p-n care conduce un curent relativ mare în polarizare directă și un curent neglijabil în polarizare inversă este numit diodă.

Prin urmare, o diodă conduce dacă polul pozitiv al sursei de tensiune se leagă la anod (stratul p) și polul negativ se leagă la catod (stratul n).

Să facem următoarea experiență. Conectăm un bec de lanternă în serie cu o diodă la o baterie corespunzătoare. Apoi vom inversa conexiunile diodei. Vom constata că într-o direcție beculețul va lumina (dioda conduce) iar în cealaltă direcție beculețul rămîne stins.

Considerînd simbolul din figură, dioda este în stare de conducție dacă vîrful simbolului este orientat în sensul curentului.

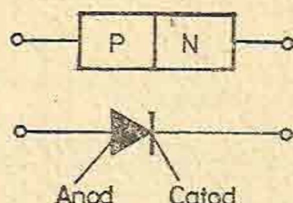


Fig. 12.6. Simbolul diodei semiconductoare

Cu ajutorul unui ohmetru se poate stabili dacă o diodă este defectă sau nu. Dioda se conectează la bornele unui ohmetru și se măsoară rezistența sa în ambele sensuri. Într-un sens dioda va prezenta o rezistență mică (1—200 Ω), iar în celălalt sens o rezistență mare. (0,2—300 MΩ). Trebuie să fim atenți ca ohmmetrul să lucreze cu o tensiune de alimentare mai mare decît tensiunea de prag a diodei (de exemplu 0,7 V la dioda cu siliciu). Altfel se vor constata rezistențe mai mari în sensul de conducție. Cu ajutorul ohmmetrului se pot determina și anodul sau catodul diodei. De cele mai multe ori avem la îndemînă un multimetru care utilizează o baterie de 1,5 V. Plusul bateriei ajunge la plusul obiectului de măsurat, iar în acest fel la borna minus (uneori notată cu COM) a multimetrului ajunge o tensiune pozitivă. Dioda conduce dacă anodul este legat la plus și catodul la minus (plusul instrumentului).

De obicei la aparatele digitale, ca de exemplu multimetrele echipate cu amplificatoare încorporate, tensiunea de lucru este foarte mică și ca urmare dioda nu ajunge să conducă în nici un sens.

12.3. Caracteristica diodei

Pentru a cunoaște comportarea și proprietățile componentelor electronice se trasează curba de dependență dintre curentul măsurat și tensiunea aplicată. Această curbă se numește caracteristică tensiune-curent. În principiu, pe abcisă (axa OX) se marchează tensiunea care constituie cauza, iar pe ordonată (axa OY) se marchează curentul care constituie efectul. Prin urmare caracteristica tensiune-curent este o reprezentare a legăturii dintre cauză și efect.

Să facem o experiență, construind montajul din figură.

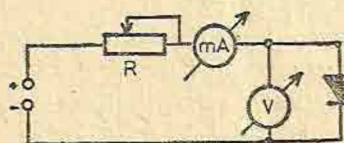


Fig. 12.7. Montaj pentru ridicarea caracteristicii unei diode

În montaj vom folosi un redresor care livrează tensiuni continue între 0 și 12 V, o rezistență adițională de 500 Ω, un ampermetru un voltmetru cu rezistență internă mai mare de 20 kΩ.

Să fixăm pentru început o tensiune de 0,05 V și să măsurăm curentul din circuit. În continuare vom crește tensiunea în trepte egale de 0,05 V și vom măsura de fiecare dată curentul. Valorile măsurate se trec într-un tabel. În final se obține o diagramă de felul celei din figura 12.8. Experiența se poate repeta pentru diferite tipuri de diode. Vom constata că la diodele cu germaniu curentul începe să circule la tensiunea de deschidere de cca 0,2 V iar diodele cu siliciu la 0,5 V.

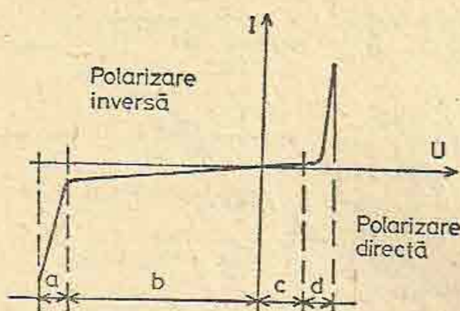


Fig. 12.8. Caracteristica tensiune curent a unei diode semiconductoare

Pînă acum am vorbit numai de starea de conducție. În cazul polarizării inverse circulă un curent atît de mic încît este foarte greu de măsurat cu un miliampermetru obișnuit. Acest curent are cîțiva microamperi pentru germaniu și cîțiva nanoamperi pentru siliciu. În cazul creșterii tensiunii inverse la depășirea unui anumit prag, curentul crește brusc. Am definit astfel tensiunea de străpungere care este întotdeauna indicată de producător. Dacă nu se iau măsuri de limitare a curentului în așa fel ca să nu fie depășită puterea maximă admisibilă a joncțiunii, dioda se distruge. Această tensiune este mai mică de 100 V la diodele cu germaniu și între 100 și 2000 V la diodele cu siliciu. De aceea vom prefera diodele cu siliciu în redresoarele de rețea.

Străpungerea joncțiunii p-n se poate explica prin efectul Zenner și prin procesul de multiplicare prin avalanșă.

Efectul Zenner constă în generarea de perechi electron-gol în regiunea de trecere îngustă datorită cîmpului electric foarte puternic creat de tensiunea inversă mare aplicată diodei. Creșterea numărului purtătorilor de sarcină mobili duce la creșterea curentului.

Procesul de avalanșă apare în semiconductorii cu regiuni de sarcină spațială largi. Odată cu creșterea tensiunii inverse electronul cîștigă energie suficientă ca la ciocnirea cu un electron de valență să-l poată scoate din legătură, generîndu-se o pereche electron-gol, procesul se repetă cumulativ și curentul crește rapid.

12.4. Redresarea monoalternanță –

Proprietatea tipică a diodei semiconductoare de a permite trecerea unui curent mare pentru polarizare directă și respectiv a unui curent neglijabil pentru polarizare inversă are utilizări multiple în electronică. Dacă se montează în serie o diodă și o rezistență de sarcină la o sursă de curent alternativ, dioda va conduce în momentul cînd anodul este pozitiv față de catod. În montajul din figura 12.9 dioda conduce cînd pe ea apare alternanța pozitivă. Pe durata alternanței negative prin diodă circulă un curent neînsemnat. Deci prin rezistența de sarcină circulă un curent pulsatoriu, întotdeauna de același sens. Se spune că acest curent este redresat și deoarece a fost utilizată numai o alternanță a tensiunii alternative, considerăm că acesta este un redresor monoalternanță.

Dacă în paralel cu rezistența R_s montăm un condensator de valoare mare, aceste se va încărca în timpul primei alternanțe și se va descărca în

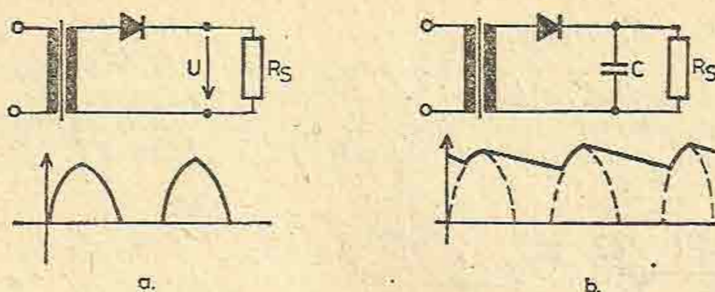


Fig. 12.9. Redresor monoalternanță: *a)* simplu; *b)* cu condensator de filtraj

timpul celeilalte. Tensiunea ce cade pe rezistență de sarcină este mult aplatizată și după cum se vede în diagrama din figură condensatorul se încarcă la valoarea de vîrf a tensiunii alternative. Tensiunea măsurată pe condensator este, prin urmare, $U_c = \sqrt{2}\ U_{ef} = 1{,}41\ U_{ef}$.

12.5. Redresorul bialternanță

În cazul redresării monoalternanță se folosește numai o semiperioadă. Pentru a utiliza și cealaltă semiperioadă avem nevoie de un transformator al cărui secundar este format din două înfășurări identice legate în serie, la care se conectează două diode. Punctul de legătură dintre cele două înfășurări secundare este așa numite priză mediană, iar schema din fig. 12.10 este schema redresorului bialternanță cu priză mediană.

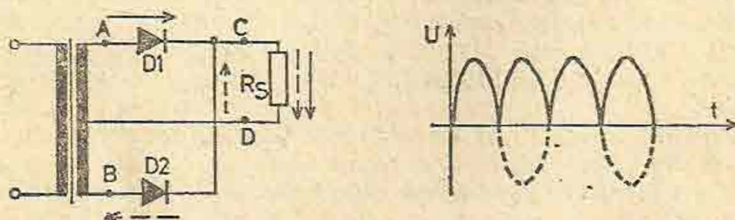


Fig. 12.10. Redresor bialternanță cu priză mediană

Dacă la punctul A apare alternanța pozitivă, prin dioda D_1 circulă un curent în sensul indicat cu săgeată continuă. Pe timpul alternanței negative punctul B devine pozitiv și prin dioda D_2 circulă un curent indicat cu săgeată punctată. După cum se observă, prin rezistența R_s circulă mereu un curent de același sens. Dacă în paralel cu rezistența R_s se montează un condensator pe care îl numim condensator de filtraj, tensiunea pulsatorie se aplatisează și devine aproape continuă. Tensiunea maximă pe condensator se calculează ca în cazul redresorului monoalternanță.

Puntea redresoare

Dacă nu avem un transformator cu priză mediană, putem construi un redresor bialternanță, utilizînd patru diode montate în punte.

Să considerăm schema din figură. Presupunem că punctul A devine pozitiv față de B. Curentul va circula prin D_1, R_s, D_3, punctul B.

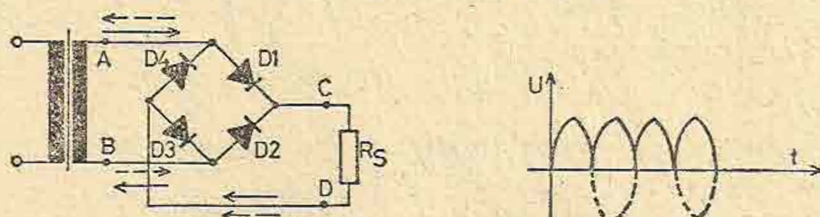


Fig. 12.11. Redresor în puncte

În timpul celeilalte alternanțe punctul B va fi pozitiv față de A, iar curentul va circula de la B prin D_2, R_s, D_4, punctul A.

Constatăm și de această dată că prin R_s circulă un curent continuu de același sens. Și aici montarea unui condensator electrolitic în paralele cu rezistența de sarcină îmbunătățește forma de undă a tensiunii redresate. Calculele sînt aceleași, dar tensiunea inversă pe diode este de 2 ori mai mică deoarece pe fiecare sens se află cîte două diode. Condiția este ca totuși diodele să fie de același tip, pentru ca tensiunea să se distribuie în mod egal. În ultimul timp se fabrică punți redresoare montate într-un dispozitiv unic.

12.6. Redresor cu multiplicare de tensiune

În radiotehnică se utilizează adesea schemele de redresori cu dublare sau multiplicare de tensiune. Acestea sînt necesare pentru obținerea tensiunilor înalte pentru etajele finale ale emițătoarelor sau pentru obținerea tensiunilor de accelerare pe tuburile catodice fără a fi nevoie de transformatoare de tensiuni înalte.

Schema din figura 12.12 funcționează în felul următor: cînd avem la punctul A alternanța pozitivă, conduce dioda D_1 și se încarcă condensatorul C_1. În timpul alternanței negative punctul B este pozitiv, dioda D_2 conduce și se încarcă condensatorul C_2 cu aceeași polaritate ca și C_1. Pe rezistența de sarcină R_s se măsoară o tensiune sumă a tensiunilor de la bornele celor doi condensatori, deci dublul tensiunii de vîrf.

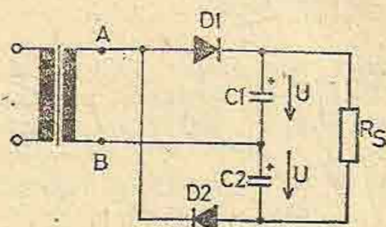


Fig. 12.12. Redresor cu dublare de tensiune

O altă schemă de redresor bialternanță este redresorul în cascadă, numit și redresor Siemens. În timpul alternanței negative dioda D_1 este în conducție și se încarcă condensatorul C_1, iar apoi conduce dioda D_2 și se încarcă condensatorul C_2. În felul acesta sursa de tensiune și condensatorul C_1

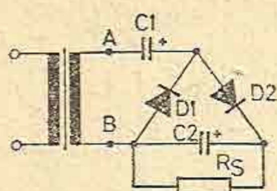


Fig. 12.13. Redresor în cascadă

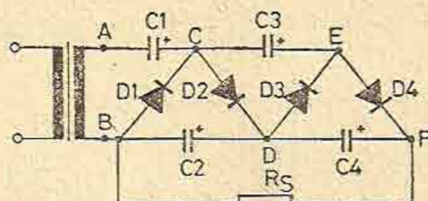


Fig. 12.14. Redresor cu multiplicare de tensiune

încărcat se leagă în serie și drept urmare condensatorul C_2 se va încărca la o tensiune dublă. Avantajul acestei scheme este că secundarul transformatorului poate fi legat cu un singur punct la masă și schema se poate continua ca în figura 12.14.

În timpul semiperioadei pozitive se deschid diodele D_2 și D_4, iar în timpul semiperioadei negative se deschid diodele D_1 și D_3. La fiecare semiperioadă condensatorul C_2 își trece sarcina pe următorul condensator. Deci condensatorii consecutivi se încarcă la dublul tensiunii precedentului. Dacă legăm rezistența de sarcină între punctele A și E, vom avea o tensiune redresată triplă sau prin continuarea schemei de cinci ori sau de șapte ori mai mare. Dacă legăm rezistența de sarcină între punctele B și F, tensiunea redresoare va fi dublă sau de 4, respectiv 6 ori mai mare.

Test

1. Ce materiale se utilizează la fabricarea diodelor semiconductoare?
2. Ce material se folosește cu precădere pentru diodele semiconductoare utilizate în redresoarele de rețea?
3. Ce se înțelege prin materiale semiconductoare?
4. Ce fel de semiconductor este Germaniu impurificat cu Arseniu?
5. Ce fel de conductivitate are un material semiconductor?
6. Desenați schema unui redresor monoalternanță. Cum se calculează mărimea tensiunii de la bornele condensatorului?
7. Desenați schema unui redresor bialternanță cu priză mediană.
8. Desenați schema unui redresor cu dublare de tensiune.
9. Desenați schema unui redresor cu triplare de tensiune.

Răspunsuri

1. Seleniul, Germaniul și Siliciul.
2. Siliciul.
3. Materialele semiconductoare au o conductivitate situată între conductoare și izolatoare
4. Material de tip n
5. O conductivitate mai bună decît a unui izolator.
6. Vezi fig. 12.9.b. $U_c = \sqrt{2}\ U_{ef}$.
7. Vezi fig. 12.10.
8. Vezi fig. 12.12.
9. Vezi fig. 12.14.

Capitolul 13

Diode semiconductoare speciale

În capitolul precedent am făcut cunoştinţă cu dioda semiconductoare. După ce am prezentat materialele semiconductoare şi dotarea lor de tip N sau P, precum şi joncţiunea PN am ajuns la utilizarea diodei ca redresoare de curent alternativ. Schemele descrise trebuie reţinute pentru a le putea desena oricînd. Înaintea de a trece mai departe este bine să vă testaţi cunoştinţele. Desenaţi deci

— schema unui redresor monoalternanţă
— schema unui redresor bialternanţă cu priză mediană
— schema unui redresor în punte
— schema unui redresor cu dublare de tensiune

În acest capitol vom prezenta dioda cu capacitate variabilă dioda cu contacte punctiforme, dioda tunel şi altele.

13.1. Dioda cu capacitate variabilă

S-a observat că joncţiunile p-n prezintă la polarizare inversă o capacitate care depinde de tensiunea aplicată. Diodele la care este folosită această proprietate se numesc diode varactor, diode varicap sau diode cu capacitate variabilă. S-a generalizat denumirea de diodă varicap.

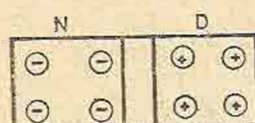




Fig. 13.1. Formarea capacităţii în zona de barieră a unei joncţiuni p-n

Capacitatea unui diode varactor definită de capacitatea de barieră variază în funcţie de tensiunea inversă aplicată. Dioda se va comporta ca un condensator cu capacitate variabilă

$$C = \frac{C_0}{(1 + 1{,}5\ V_R)^n}$$

unde: C_0 este capacitatea joncţiunii în lipsa polarizării externe; V_R tensiunea inversă; n un coeficient dependent de tehnologia de fabricaţie a diodei.

Simbolul unei astfel de diode este format din simbolul unei diode la care se adaugă simbolul unui condensator variabil.

Diodele varicap se utilizează la acordul circuitelor oscilante în gama undelor scurte şi ultrascurte. În schema din fig. 13.4 se prezintă schema de conectare într-un circuit oscilant format din inductanţa L şi capacitatea diodei varicap. Condensatorul C_1 de trecere împiedică scurtcircuitarea în curent



Fig. 13.2. Simbolul unei diode varicap.

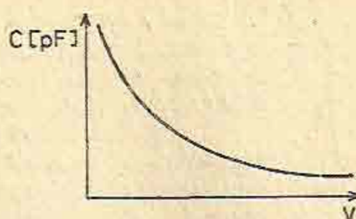


Fig. 13.3. Variația capacității în funcție de tensiunea inversă a unei diode varicap.

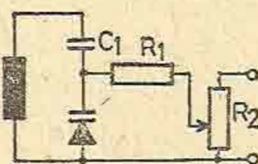


Fig. 13.4. Circuit oscilant cu diodă varicap.

continuu a diodei varicap prin bobină, tensiunea de comandă se aplică diodei prin potențiometrul R_2 și rezistorul R_1 (sute de kΩ). Curentul invers al diodei este foarte mic și pe R_1 tensiunea de comandă scade foarte puțin. Acordul circuitului se realizează prin deplasarea cursorului potențiometrului R_2.

Aceste diode se mai folosesc și la multiplicarea frecvenței lor, la acordul automat al frecvenței, la modulația în frecvență în emițătoarele radioamatorilor.

13.2. Diode cu contacte punctiforme

Suprafața relativ mare a joncțiunii pn introduce o capacitate nedorită în tehnica frecvențelor înalte. Pentru micșorarea capacității se utilizează dioda cu contact punctiform.

Pe o plăcuță de germaniu se înfige vîrful unui fir metalic. Joncțiunea formată între vîrful de metal și plăcuța de germaniu de tip n are o capacitate foarte mică datorită contactului punctiform. Prin contactul metal — semiconductor apare o circulație de purtători de sarcină și dioda se poate comuta în ritm foarte rapid. Aceste diode sînt foarte bine utilizate ca diode detectoare în înaltă frecvență în demodulatoarele radioreceptoarelor.

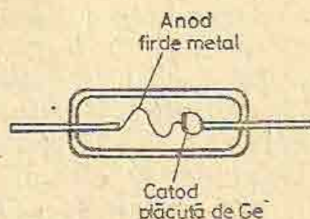


Fig. 13.5. Diodă cu contact punctiform

13.3. Dioda stabilizatoare

Domeniul de străpungere al unei diode permite utilizarea joncțiunilor PN ca stabilizatoare de tensiune; ca urmarea dotării deosebite a materialului semiconductor, spre tensiuni inverse destul de mici, apare o cădere pronunțată a caracteristicii diodei. În 1934 C. Zenner a descoperit efectul „emisiei de cîmp intern". La tensiuni relativ mici apare străpungerea Zenner.

În zona de conducție caracteristica este identică cu cea a unei diode obișnuite cu siliciu. În domeniul invers de conducție curentul crește brusc

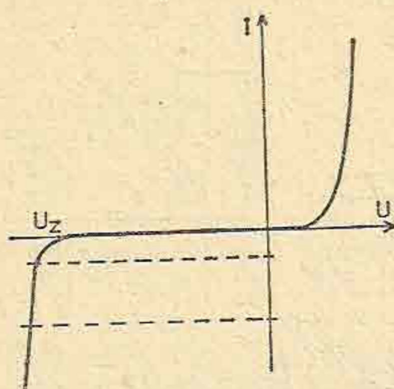


Fig. 13.6. Caracteristica unei diode Zenner

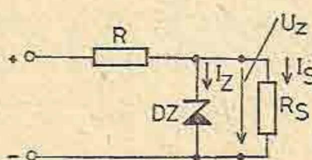


Fig. 13.7. Stabilizator

la variații foarte mici ale tensiunii aplicate și dioda poate funcționa timp îndelungat în acest regim. Acest domeniu reprezintă domeniul de stabilizare.

În principiu dioda stabilizatoare se montează în serie cu o rezistență. Trebuie menționat că fără această rezistență limitatoare de curent la o mică depășire a tensiunii de străpungere (tensiune de stabilizare) dioda se distruge.

Dacă tensiunea U_1 crește pînă la valoarea tensiunii U_z, tensiunea la ieșire rămîne egală cu cea de la intrare, deoarece prin diodă nu trece nici un curent. Cînd totuși U_1 atinge valoarea U_z, curentul prin diodă crește fără ca tensiunea U_z să mai varieze. Acesta este fenomenul de stabilizare.

Trebuie să reținem că dioda stabilizatoare se utilizează în domeniul de străpungere împreună cu o rezistență de limitare. Această rezistență va fi astfel dimensionată încît dioda să nu fie suprasolicitată nici la tensiunea maximă de intrare.

13.4. Dioda tunel

Dioda tunel a mai fost numită și dioda Esaki după numele inventatorului ei. O diodă tunel se obține prin îmbogățirea cu impurități a ambelor regiuni ale unei joncțiuni pn, regiunea p este de 200 de ori mai dotată decît la semiconductorii obișnuiți, iar regiunea n de 2000 de ori mai dotată. Din cauza aceasta zona de barieră este foarte îngustă, de ordinul unei sutimi de micron.

Se constată că există posibilitatea ca electronii care posedă energii mai mici decît bariere de potențial a joncțiunii să treacă această barieră. O astfel de trecere este efectul tunel.

Caracteristica unei astfel de diode poate fi împărțită în trei regiuni:

— regiunea I care corespunde unei tensiuni directe mici. Numărul de electroni care trec bariera crește odată cu creșterea tensiunii.

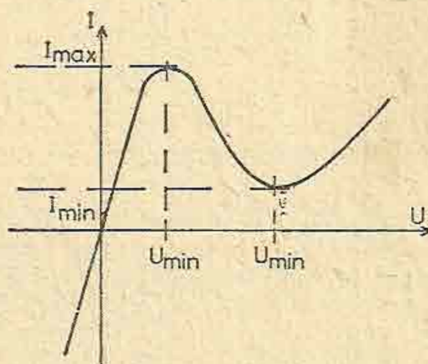


Fig. 13.8. Caracteristica unei diode tunel

— regiunea II prezintă o scădere a curentului odată cu creşterea tensiunii directe. În această regiune dioda prezintă o rezistenţă negativă. Această proprietate este folosită în oscilatori pentru compensarea pierderilor în circuitele oscilante şi producerea de oscilaţii întreţinute.

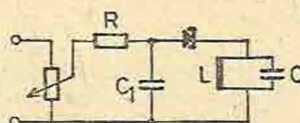


Fig. 13.9. Oscilator cu diodă tunel

În fig. 13.9 este prezentată schema unui oscilator cu diodă tunel. Potenţiometrul reglează punctul de funcţionare iar dioda tunel compensează prin condensatorul C_1 pierderile circuitului oscilant. Din păcate aceste oscilatoare sînt puternic influenţate de temperatură, semnalul este mic iar reglajul este dificil.

13.5. Dioda PIN

După cum arată titlul această diodă este formată din trei straturi. Pe cele două feţe ale unei plăcuţe de siliciu de tip p cu o rezistivitate foarte mare (peste 350 Ω cm) se obţin, prin difuzie, zonele p şi n.

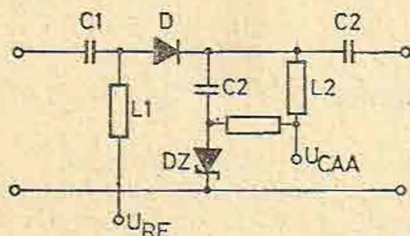


Fig. 13.10 Circuit de reglaj automat al amplificării cu diodă PIN

Cea mai importantă proprietate a diodei PIN este că poate apare ca o rezistenţă pură la frecvenţe înalte. Valoarea acestei rezistenţe poate fi comandată între 1 şi 10.000 Ω printr-un curent continuu sau de joasă frecvenţă. Astfel se poate folosi în dispozitivele de reglaj automat al amplificării la intrarea de înaltă frecvenţă a radioreceptoarelor.

Clasificarea diodelor semiconductoare

Tipul	Utilizarea
Diode cu contact punctiform	Detectoare de înaltă frecvenţă pentru semnal mic. Demodulatoare
Diode varicap Varactoare	Acordul circuitelor oscilante modulaţie de frecvenţă multiplicare de frecvenţă
Diode tunel	Generatoare de oscilaţii în domeniul microundelor
Diode redresoare	Redresoare
Diode Zener	Stabilizatoare de tensiune Limitatoare de tensiune
Diode PIN	Rezistenţă reglabilă în înaltă frecvenţă

Test

1. Care este relaţia dintre frecvenţă şi tensiune la o diodă varicap.
2. Ce este o diodă tunel?
3. Desenaţi caracteristica unei diode Zener

Răspunsuri

1. Odată cu creşterea tensiunii de blocare capacitatea scade iar frecvenţa creşte.
2. Dioda tunel are joncţiunea foarte dotată. În domeniul de trecere (100—200 mV) dioda tunel prezintă o rezistenţă negativă.
3. Vezi figura nr. 13.6.

Capitolul 14

Tranzistorul (I)

În capitolele precedente am studiat structura și modul de funcționare al diodei semiconductoare, precum și utilizările ei. Într-o diodă semiconductoare elementul esențial este joncțiunea p n. La un tranzistor bipolar există două astfel de joncțiuni. Pentru a putea înțelege bine fenomenele din tranzistor va trebui să recapitulați paragraful referitor la joncțiunea p n.

14.1. Structura tranzistorului

Există două feluri de tranzistoare: tranzistoare bipolare, și tranzistoare unipolare numite și tranzistoare cu efect de cîmp (T E C).

Tranzistorul bipolar, tranzistorul „obișnuit" este compus din trei zone. Dacă la o structură p n se adaugă un strat p sau un strat n pot să apară două feluri de structuri de tranzistoare: structură npn sau structură pnp. Pentru fiecare strat se adaugă un electrod de conexiune metalic care vor primi denumirile: emitor (E), bază (B) și colector (C). Între două regiuni apar joncțiunile pn. Trebuie spus că regiunea numită bază are o grosime foarte mică ce face ca cele două joncțiuni să interacționeze și să apară așa-numitul „efect de tranzistor". Acest fenomen constă în esență în faptul că purtătorii minoritari injectați de emitor în bază, goluri la tranzistoarele de tip pnp și electroni la tranzistoarele de tip npn, ajung în cea mai mare parte la colector prin fenomenul cunoscut sub numele de difuzie și numai o foarte mică parte se recombină în bază.

Tranzistorul a fost inventat în anul 1947 de trei cercetători americani John Bardeen, W. Shockley și W.H. Brattain de la Bell Telephone Laboratories care au încercat să creeze un dispozitiv electronic capabil să înlocuiască tuburile electronice cu catod încălzit. Acesta urma să fie utilizat în amplificatoarele folosite în telefonia la mare distanță. Încercările au durat aproape opt ani, iar noul dispozitiv

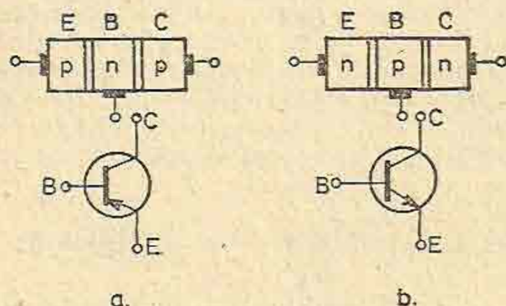


Fig. 14.1. Dispunerea joncțiunilor și simbolurile tranzistorului bipolar

era format dintr-o plăcuţă de germaniu de tip n şi două firişoare metalice care făceau cîte un contact punctiform cu plăcuţa. Acest dispozitiv a căpătat numele de tranzistor prin unirea a două cuvinte: transfer şi rezistor. Primul tranzistor avea o amplificare egală cu 40 la o frecvenţă de 1000 Hz. Astfel de tranzistoare nu se mai fabrică astăzi. În timpul care s-a scurs de la inventarea tranzistorului au fost elaborate o serie de tehnologii de fabricaţie şi deci şi de tipuri de tranzistoare. Astăzi tranzistoarele se fabrică prin două procedee: tehnica alierii şi tehnica difuziei.

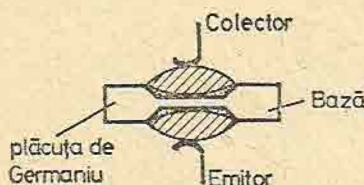


Fig. 14.2. Secţiune printr-un tranzistor cu grmaniu

În tehnologia de aliere punctul de plecare îl constituie o plăcuţă dintr-un monocristal de germaniu dotată cu impurităţi de tip n. De o parte şi de alta a plăcuţei se fixează cîte o bilă de indiu, care pentru germaniu este o impuritate de tip p. Ansamblul se încălzeşte la temperatura de topire a indiului. Indiul pătrunde în reţeaua cristalină a semiconductorului, astfel încît după răcire sub bilele de indiu apar zone de tip p. Perla care formează colectorul este mai mare decît cea a emitorului şi e mai slab dotată. Grosimea bazei depinde şi de durata procesului de aliere. Pe cele trei regiuni ale tranzistorului se sudează firele de conexiuni, sistemul este fixat pe o plăcuţă suport şi apoi încapsulat.

Tot astfel se pot fabrica tranzistoare de germaniu tip npn prin alierea a două perle de antimoniu pe o plăcuţă de germaniu tip p. Un procedeu asemănător se aplică şi la fabricarea tranzistoarelor cu siliciu.

Principalul dezavantaj al tranzistoarelor aliate este frecvenţa maximă de lucru relativ mică.

Printre tranzistoarele aliate fabricate de IPRS Băneasa se află de exemplu: EFT 323 (pnp) şi EFT 373 (npn) sau AC 180 (pnp) şi AC 181 (npn). Se utilizează ca amplificatoare de mică putere tranzistoare de putere medie, 5—10 W cum sînt AD 152—155, iar cele de puteri mari, 30—50 W, cum sînt AD 130 şi AD 131.

Spre deosebire de procedeul de aliere care implică o stare lichidă, procedeul de difuzie presupune o fază gazoasă. Cristalul semiconductor este încălzit la o temperatură apropiată de cea de topire într-o atmosferă gazoasă ce conţine vapori de impurităţi care pătrund în cristal. Pentru fabricarea unei joncţiuni pn se încălzeşte o plăcuţă semiconductoare de tip n într-o atmosferă de atomi de tip p. Aceştia pătrund în interiorul plăcuţei formînd o regiune de tip p. Cel mai important tip de tranzistor care se fabrică prin tehnica difuziei este tranzistorul planar. Principala calitate a acestor tranzistoare este frecvenţa de lucru foarte ridicată care ajunge şi la cîteva mii de MHz. Aceasta deoarece prin difuzie stratul bazei poate fi făcut extrem de subţire.

14.2. Tranzistorul ca amplificator

Tranzistorul poate fi conectat în montaje în trei moduri distincte, după care îşi iau denumirea de la electrodul care se leagă la masă pentru a fi comun atît intrării cît şi ieşirii. Avem prin urmare trei scheme de conexiune: cu

bază comună, cu emitor comun și cu colector comun. Pentru explicarea funcției de amplificare a tranzistorului vom alege conexiunea cu emitor comun.

Deci între emitor și bază vom conecta o tensiune care să polarizeze joncțiunea PN în sensul de conducție. Electronii purtători de sarcină negativă sînt emiși de emitor spre zona bazei. Din cauza slabei dotări a acestei zone aici nu au loc prea multe recombinări. Dacă pe colector se aplică o tensiune pozitivă, electronii traversează zona foarte subțire a bazei și prin difuzie ajung la colector. În felul acesta cea mai mare parte a electronilor emiși de emitor ajung la colector și numai o mică parte vor circula prin circuitul de bază. Rezultă că vom avea un curent de colector mult mai mare decît cel de bază. Dacă tensiunea dintre bază și emitor U_{BE} crește, mai mulți electroni produși de emitor vor ajunge la colector. Deci o creștere a tensiunii dintre bază și emitor duce la o creștere a curentului de colector. Se poate spune că putem comanda cu un curent foarte mic de bază un curent mult mai mare de colector. Fenomenul se numește amplificare în curent a tranzistorului.

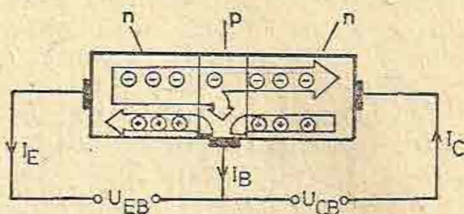


Fig. 14.3. Curenții printr-un tranzistor bipolar

Pentru un tranzistor pnp principiul este același, numai că polarizarea este inversă, iar purtătorii de sarcină sînt golurile. Prin aceasta nu trebuie să se înțeleagă că putem să conectăm invers un tranzistor npn și vom obține același rezultat. Dimpotrivă amplificarea va fi nulă.

14.3. Simboluri și scheme echivalente

Simbolul tranzistorului bipolar își are originea în forma constructivă a primului tranzistor cu contacte punctiforme. Emitorul este reprezentat printr-o săgeată. La un tranzistor pnp săgeata este îndreptată spre bază, iar la un tranzistor npn săgeata este îndreptată dinspre bază. De fapt săgeata indică sensul convențional al curentului prin tranzistor. Dar cum vom polariza tranzistorul? Vom proceda în așa fel încît joncțiunea bază-emitor să fie deschisă, iar cea dintre colector și bază blocată. Amintim că joncțiunea pn conduce dacă plusul sursei de tensiune este conectat la regiunea p și minusul la regiunea n. Deci pentru tranzistor pnp minusul tensiunii U_{CE} se află pe colector. Pentru tranzistorul npn tensiunile vor fi inverse ca sens.

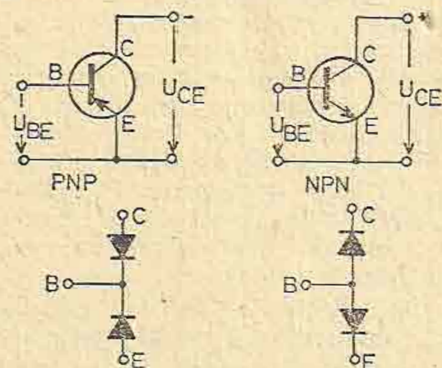


Fig. 14.4. Simboluri și scheme echivalente

Va trebui să reținem că la un tranzistor npn toate tensiunile sînt pozitive față de emitor, iar la un tranzistor pnp sînt negative.

Pentru a înțelege mai bine funcționarea unui tranzistor au fost imaginate mai multe scheme echivalente, a căror explicare presupune utilizarea unui aparat matematic foarte elevat. În mod foarte simplist vom închipui schema din fig. 14.4. Desigur aceasta nu se poate realiza în practică, pentru că de exemplu, baza are o grosime de numai cîțiva μm și este foarte slab dotată. Deci schema echivalentă înlocuiește fiecare joncțiune printr-o diodă. Pentru ca joncțiunea bază-emitor să fie în stare de conducție vom aplica o tensiune de 0,2...0,3 V pentru germaniu și 0,5...0,6 V pentru siliciu, iar pentru ca joncțiunea colector-bază să fie polarizată invers tensiunea U_{CE} va trebui să fie mai mare, în practică folosindu-se tensiuni cuprinse între 2 și 10 V. Schema echivalentă fig. 14.4. cu diode a tranzistorului ne permite să facem o verificare sumară a unui tranzistor cu ajutorul unui ohmmetru în același mod cum se face pentru diode. Dacă cunoaștem conexiunile tranzistorului, vom pune o clemă a ohmmetrului la bază iar cealaltă clemă odată la colector, odată la emitor. În funcție de polaritatea clemelor și tipul tranzistorului (pnp sau npn) ambele joncțiuni pn vor prezenta ori rezistență mare (blocare) sau ambele o rezistență mică (conducție). Între colector și emitor vom măsura totdeauna o rezistență mare deoarece indiferent de polarizarea tensiunii dintre colector și emitor, una din joncțiuni (diode) va fi blocată.

Dacă nu cunoaștem conexiunile tranzistorului, vom identifica mai întîi baza cu ajutorul acestei metode. Vom ține seamă că întotdeauna raportul rezistențelor dintre bază și ceilalți electrozi rămîne același, mare sau mic.

14.4. Parametrii tranzistorului

Pentru cunoașterea practică a unui tranzistor se fac măsurători ale caracteristicilor sale. Considerînd mărimile electrice din figură, observăm că I_e, curentul din emitor se împarte în două părți, un curent foarte mic de bază I_b și un curent de colector I_c.

Deci vom putea scrie:

$$I_e = I_b + I_c$$

Trebuie să reținem că mereu curentul de colector este mult mai mare decît curentul de bază.

În continuare vom descrie un montaj practic cu ajutorul căruia se pot determina caracteristicile statice ale unui tranzistor. Aceste caracteristici reprezintă dependențele funcționale dintre curenții și tensiunile din tranzistor. În schema dată se folosește o sursă de curent continuu cu tensiunea 12 V, două voltmetre pentru U_{BE} și U_{CE} și două miliampermetre pentru măsurarea curenților de bază și de colector. Potențiometrul P_1 va fi de 500 Ω, iar P_2 de 100 Ω. Rezistența de polarizare R_p va avea între 5 și 10 K.

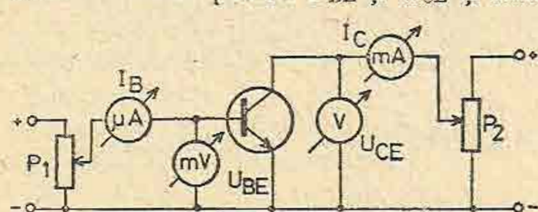


Fig. 14.5. Montaj pentru determinarea caracteristicilor statice ale unui tranzistor

Pentru început vom roti potențiometrul P_1 la minim și vom măsura $U_{BE} = 0$V. Cu ajutorul lui P_2 vom stabili $U_{CE} = 5$ V. În

continuare creștem tensiunea U_{BE} foarte încet pînă la 0,4 V. Vom observa că cele două miliampermetre indică un curent de bază și un curent de colector. Dacă tensiunea dintre bază și emitor crește încet, vom observa circulația curentului foarte mic de bază, care este mai mic de 1 mA, în funcție de tipul tranzistorului valoarea curentului de colector se situează între 10 și 50 mA. În felul acesta trasăm caracteristica de intrare a unui tranzistor care reprezintă dependența dintre tensiunea bază-emitor și curentul de bază. În continuare vom trasa caracteristica de ieșire a unui tranzistor care descrie dependența dintre tensiunea colector-emitor U_{CE} și curentul de colector I_{CE}. Pentru început vom păstra tensiunea U_{CE} egal cu 5 V. Cu ajutorul potențiometrului P_1 stabilim un curent de bază de cca 50 μA. Acest curent va rămîne constant în timp ce tensiunea colector-emitor U_{CE} variază între 5—10 V. Pentru trasarea caracteristicii complete tensiunea U_{CE} va avea o variație între 0—10 V. Se observă că în domeniul 1—10 V curentul de colector rămîne aproape constant ceea ce înseamnă că tensiunea de 1 V este suficientă pentru ca toți electronii care trec prin bază să ajungă la colector.

În continuare se pot face măsurări, ținînd constant $I_B = 100$ μA, 2 50 μA ș.a.m.d.

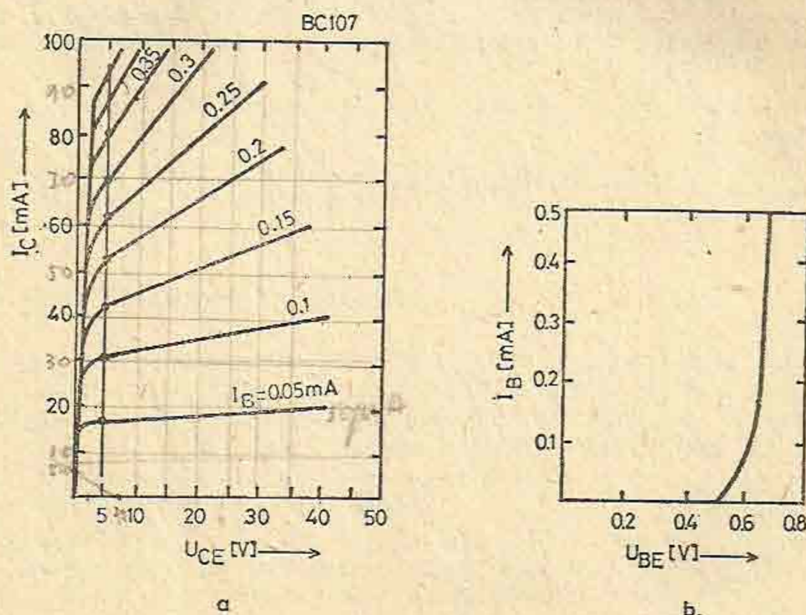


Fig. 14.6. Caracteristicile de intrare și ieșire ale unui tranzistor

Pentru a înțelege mai bine aceste caracteristici vom face cîteva exerciții. Să luăm mai întîi caracteristica de intrare. Care este mărimea tensiunii U_{BE} pentru următoarele valori ale curentului de bază: *a)* 0,1 mA; *b)* 0,2 mA; *c)* 0,3 mA. După aceasta, considerînd $U_{CE} = 5$ V, să citim valorile curentului de colector din caracteristica de ieșire a tranzistorului corespunzătoare curenților rezultați din prima diagramă. Rezultatele se vor trece într-un tabel.

Test

1. Un tranzistor *npn* este format din:
a. un strat subţire de semiconductor de tip *p* plasat între două straturi de tip *n*
b... un emitor o bază şi un colector.
c... un material semiconductor emiţător de electroni şi protoni.
2. Ce se întîmplă într-o joncţiune pn atunci cînd se aplică o tensiune inversă?
a Golurile şi electronii traversează joncţiunea.
b. Purtătorii minoritari din zona *p* se combină cu cei din zona *n*.
c Scade potenţialul joncţiunii *pn*.
3. Polarizarea unui tranzistor este
a. directă atît pe joncţiunea bază-emitor cît şi pe bază-colector
b. directă pe bază-emitor şi inversă pe bază-colector
c. inversă pe ambele joncţiuni.
d. inversă pe bază-emitor şi directă pe bază-colector.
4. Într-un tranzistor curentul de colector depinde de:
a. tensiunea de colector
b. polarizarea directă
c. conţinutul de impurităţi
d. curentul din bază
5. Desenaţi caracteristica de intrare a unui tranzistor. Atenţie la notaţia axelor de coordonate.
6. Desenaţi caracteristica de ieşire a unui tranzistor.
7. Ce se înţelege prin rezistenţa de intrare a unui tranzistor?
Raportul dintre: *a. Curentul din bază* şi Tensiunea bază-emitor *b. variaţia curentului de bază* şi variaţia tensiunii bază emitor *c. variaţia tensiunii bază emitor* şi variaţia curentului din bază

Răspunsuri:

1. *a*; 2. *b*; 3. *b*; 4. *b*; 5. fig. 14.6; 6. fig. 14.6; 7. *c*.

Capitolul 15.

Tranzistorul (II)

După ce în capitolul precedent am prezentat procesele interne ale tranzistorului vom trece acum la descrierea schemelor practice de utilizare.

Totuşi cîteva întrebări recapitulative ne vor fixa cunoştinţele teoretice:

1. Ce tipuri de tranzistoare bipolare cunoaşteţi?
2. Ce polaritate au tensiunile U_{CE} şi U_{BE} ale unui tranzistor bipolar NPN?
3. Desenaţi schema echivalentă cu diode a unui tranzistor NPN.
4. Trasaţi caracteristica de intrare a unui tranzistor.
5. Trasaţi caracteristicile tipice de ieşire ale unui tranzistor. Reţineţi indicii axelor de coordonate.
6. Cum se poate calcula curentul de emitor în funcţie de curentul de colector şi curentul din bază?

Răspunsurile le puteţi verifica reluînd capitolul precedent. Dacă aţi răspuns bine puteţi trece mai departe.

15.1. Amplificatoare de tensiune

După cum ştim amplificatorul de curent cu ajutorul unui curent mic, de bază, poate comanda un curent mare de colector. La fel se poate întîmpla şi cu tensiunile. În radioamatorism amplificarea în tensiune ocupă un rol foarte important. Tensiunea foarte mică a unui semnal captat de o antenă trebuie amplificată foarte mult pentru ca emisiunea să fie recepţionată în bune condiţiuni.

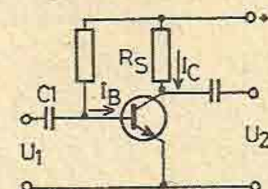


Fig. 15.1. Amplificatorul de tensiune

Să considerăm schema din fig. 15.1. La o variaţie a tensiunii din bază trece prin condensatorul de cuplaj C_1 modifică şi curentul de bază I_B. Efectul imediat este variaţia în acelaşi ritm a curentului de colector I_c, amplitudinea lui fiind mult mai mare, să presupunem de 100 de ori (diagrama *c*). Pe rezistenţa din colector R_c tensiunea se modifică. Dacă I_c creşte, creşte şi tensiunea pe R_c iar U_{CE} scade. (fig. 15.2 *d*). Condensatorul C_2 blochează componenta continuă. La ieşire vom culege numai componenta alternativă (diagrama *e*).

Comparînd prima şi ultima diagramă observăm într-adevăr o amplificare în tensiune însă atunci cînd la intrare U_1 creşte la ieşire U_2 scade. Vom spune

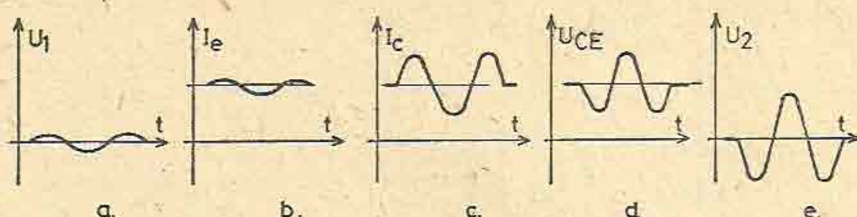


Fig. 15.2. Procesul de amplificare în tensiune

că tensiunile de la intrarea și de la ieșirea unui tranzistor în montaj EC sînt în opoziție de fază.

Vom nota cu ΔU_2 variația tensiunii de ieșire și cu ΔU_1 variația tensiunii de intrare. Definim factorul de amplificare în tensiune raportul

$$A_u = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$$

Dacă în circuitul de colector ar lipsi R_c (tensiune U_{CE} deci constantă) am avea factorul A_u iar cu rezistența R_c amplificarea în curent A_i. Putem defini amplificarea în putere ca produsul dintre amplificarea în curent și amplificarea în tensiune

$$A_p = A_u \cdot A_i$$

Să facem o experiență. Vom construi montajul din figura 15.3 dacă avem la dispoziție un generator audio și un osciloscop.

Vom fi atenți să respectăm polaritatea condensatorilor electrolitici. Fără a pune în funcțiune generatorul audio vom conecta tensiunea de alimentare, cca 10 V. Vom măsura această tensiune cu voltmetrul conectat între colector și masă. Vom roti cursorul voltmentrului P pînă vom măsura o tensiune de 6—7 Volți.

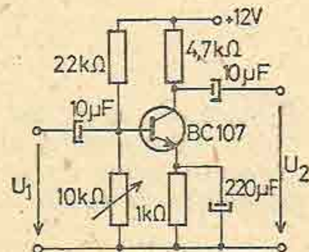


Fig. 15.3. Amplificatorul de joasă frecvență

Reglăm generatorul pe o frecvență de 1 kHz cu o tensiune de cca 30 mV vom măsura pe ecranul osciloscopului o tensiune de ieșire vîrf-vîrf și vom calcula amplificarea în tensiune

$$A_u = \frac{U_{2\,vv}}{-U_{1\,vv}}$$ care va fi mai mare de 100.

Dacă avem la dispoziție un osciloscop cu două spoturi pe ecran putem vedea simultan semnalul de intrare și cel de ieșire care trebuie să apară în opoziție de fază.

Să creștem frecvența semnalului de intrare pînă cînd tensiunea semnalului de la ieșire scade la 70% din valoarea precedentă. Aceasta este frecvența limită superioară a tranzistorului măsurat. La fel vom proceda pentru aflarea frecvenței limită inferioare.

Să deconectăm condensatorul C_E și să măsurăm din nou amplificarea. Valoarea sa va scade la circa 5 adică va fi aproximativ egală cu raportul dintre R_C și R_E.

15.2. Conexiunile de bază ale tranzistorului

Tranzistorul se conectează în etajele de amplificare în trei moduri diferite. Aceste moduri de conexiune își iau denumirea de la electrodul care este comun intrării și ieșirii. Schemele de pînă acum au fost desenate în conexiune cu emitorul comun, notată EC. Mai pot exista două conexiuni: cu bază comună (BC) și cu colector comun (CC).

Trebuie subliniat că proprietățile sînt cu totul diferite.

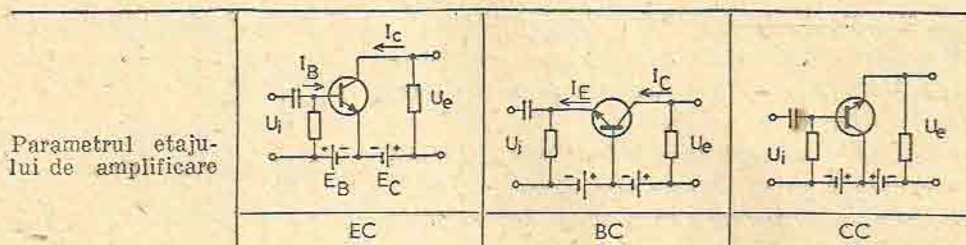


Fig. 15.4. Moduri de conectare ale tranzistorului

Parametrul etajului de amplificare	EC	BC	CC
Rezistență de intrare I	medie	mică	mare
	sute	unități	zeci de mii
Rezistență de ieșire	medie	mare	mică
	sute	sute de mii	zeci
Amplificare de curent	10—100	sub 1	peste 10
Amplificare de tensiune	peste 100	pînă la 1000	sub 1
Amplificare în putere	pînă la 10 000	pînă la 1000	10

Conexiunea EC se folosește atît în joasă frecvență cît și în radiofrecvență, mai ales cînd se dorește obținerea unei amplificări în putere foarte mari de la cîteva mii la 50 000. Dezavantajul acestei conexiuni este impedanța de intrare destul de mică, iar frecvența limită maximă destul de scăzută.

Conexiunea BC prezintă avantajul că lucrează la frecvențe foarte înalte, iar reacția inversă este foarte slabă. De aceea se folosește mai ales la etajele amplificatoare de RF din receptoarele UUS. Totuși rezistența de intrare a acestor montaje este mică.

Conexiunea CC este folosită cînd este dorită o rezistență de intrare foarte mare și o rezistență de ieșire mică. Este un amplificator de curent, amplificarea în tensiune fiind aproximativ 1. Se folosește ca transformator de impedanță.

15.3. Polarizarea joncțiunii bază emitor

Pentru ca un tranzistor să funcționeze este nevoie de două tensiuni: una pentru deschiderea joncțiunii bază-emitor și alta pentru polarizarea inversă a joncțiunii bază colector Ar fi destul de incomod să se folosească mai multe surse de alimentare și de aceea se caută a se obține tensiunile de polarizare de la o sursă unică.

Să studiem schema de polarizare a bazei în montaj EC. Se utilizează un divizor rezistiv, R_{B1} R_{B2} în figură 15.5 *b* Tensiunea U_{BE} se obține din căderea de tensiune pe rezistența R_{B2}. Un astfel de montaj are o funcționare foarte stabilă.

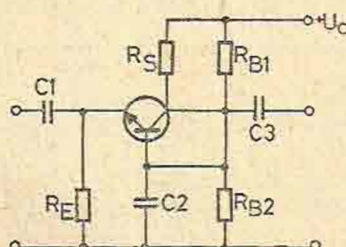
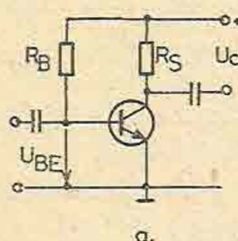


Fig. 15.6. Polarizarea tranzistorului în montaj BC

A doua schemă de polarizare are o singură rezistență la intrare R prin care circulă curentul de bază I_B. Rezistența este astfel aleasă încît



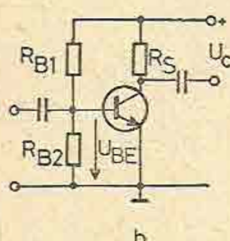


Fig. 15.5. Cele două moduri de polarizare a unui tranziszor în conexiune EC

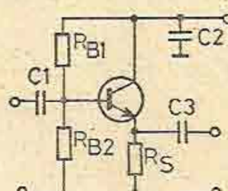


Fig. 15.7. Polarizarea tranzistorului în montaj CC

poate provoca o cădere de tensiune de 0,2 V pentru tranzistoare cu Germaniu și 0,6 V pentru tranzistoare cu Siliciu.

În montajele BC și CC baza este polarizată tot cu un divizor rezistiv. În montajul cu bază comună baza este conectată la masă prin condensatorul C_B iar polarizarea sa, se realizează cu divizorul $R_{B1}R_{B2}$. În montajul CC colectorul este legat la masă prin condensatorul C_3 iar baza este polarizată tot prin divizorul rezistiv R_{B1} R_{B2}.

15.4. Stabilizarea punctului static de funcționare

O problemă a amplificatoarelor cu tranzistoare este menținerea punctului de funcționare odată cu schimbarea temperaturii de lucru. Pentru stabiliszarea punctului static de funcționare se utilizează scheme cu reacție de curent sau de tensiune.

Pentru a introduce o reacție pozitivă se montează în circuitul de emitor o rezistență R_E, iar tensiunea de polarizare a bazei se stabilește prin divizorul de tensiune R_{B1} R_{B2}.

Să presupunem că, curentul I_c crește și odată cu el și curentul de emitor. Pe rezistența de emitor R_E va apare o creștere a căderii de tensiune. Dacă tensiunea pe R_{B2} rămîne constantă trebuie ca U_{BE} să scadă. Datorită acestui fapt scade și curentul de bază și odată cu el și I_c. Deci reacția din emitor reglează automat curentul de bază și prin aceasta curentul de colector.

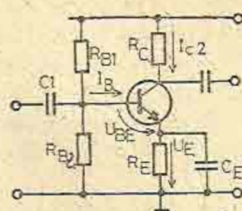


Fig. 15.8. Stabilizarea punctului static de funcționare prin reacție de curent

Din păcate, în regim alternativ aceste măsuri nu sînt de ajuns. În paralel cu rezistența R_E se montează un condensator C_E de 0,1 μF în radiofrecvență și de 25 — 1 000 μF în audiofrecvență. În cazul reacției de tensiune rezistența R_2 a divizorului de tensiune nu se mai leagă la sursă ci la colector. Cînd curentul de colector crește datorită temperaturii, tensiunea U_{CE} scade și odată cu ea U_{BE}.

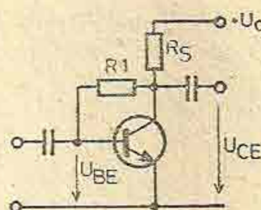


Fig. 15.9. Stabilizarea punctului static de funcționare prin reacție de tensiune

Pentru amplificatoarele de putere punctul static de funcționare se stabilește cu alt procedeu. Pe radiatorul tranzistorului final se montează o rezistență cu coeficient de temperatură negativ. Odată cu creșterea temperaturii, rezistența negativă scade, iar tensiunea dintre bază și emitor se stabilizează automat.

15.5. Cuplajul între etajele de amplificare tranzistorizate.

Dacă dorim ca un semnal să fie amplificat foarte mult trebuie să utilizăm mai multe etaje în cascadă. Între ieșirea unuia și intrarea celuilalt se intercalează un condensator de cuplaj. În acest fel, prin condensator trece numai componenta alternativă, cea continuă fiind blocată. Acest mod de cuplaj se recomandă în audio frecvență.

Dar precum știm tranzistoarele în montaj EC prezintă o impedanță mare la ieșire și o impedanță mică la intrare. Astfel apare o neadaptare între etaje care duce la pierderi însemnate. Pierderile se pot compensa prin montarea unui etaj spulimentar de amplificare.

În radiofrecvență unde se utilizează frecvent circuitele oscilante, cel mai indicat este cuplajul prin transformator. Transformatorul de cuplaj poate regla adaptarea prin alegerea potrivită a raportului de transformare care este raportul dintre numărul înfășurărilor din primar N_1 și numărul înfă-

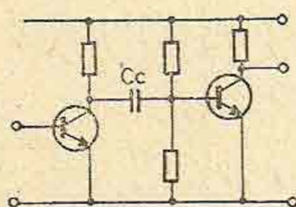
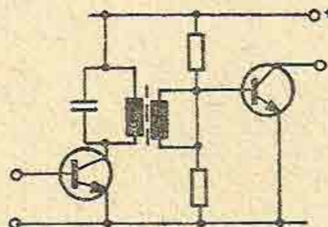


Fig. 15.10. Cuplaj capacitiv între două etaje tranzistorizate


Fig. 15.11. Cuplaj inductiv între două etaje tranzistorizate

şurărilor din secunda N_2. În felul acesta se realizează o adaptare perfectă înîntre impedanța mică de intrare şi impedanța mare de ieşire a etajului precedent. Se realizează cea mai mare amplificare posibilă.

În afară de aceste cuplaje mai există şi cuplajul în curent continuu, fără intercalarea unor componente. Acest mod de cuplaj se utilizează în amplificatoarele de *curent continuu* şi numai în circuitele integrate.

15.6. Dimensionarea unui amplificator tranzistorizat

Vom da un exemplu de calcul al rezistențelor unui amplificator tranzistorizat de audiofrecvență (fig. 15.8)

Să considerăm curentul de colector $I_c = 1$ mA, tensiunea pe colector $U_c = 5$ V. Tensiunea de alimentare a montajului este $U_a = 10$ V. Putem calcula imediat rezistența de colector pe care vom avea o cădere de tensiune de 5 V la un curent de 1 mA

$$R_c = \frac{U_{a/2}}{I_c} = \frac{5\text{ V}}{1\text{ mA}} = 5\text{ k}\Omega \text{ alegem } 4{,}7\text{ k}$$

Pentru stabilirea punctului static de funcționare vom dimensiona rezistența din emitor între 1/5 şi 1/10 din rezistența de colector R_c.

$$R_E = \frac{R_c}{10} = \frac{4\,700}{10} = 470\ \Omega \text{ sau } R_E = \frac{4\,700}{5} = 1\text{ k}\Omega$$

Deoarece curentul de emitor este aproape egal cu cel de colector pe rezistența de emitor R_E cade o tensiune

$$U_{RE} = R_E \cdot I_E = 1\text{ k}\Omega \cdot 1\text{ mA} = 1\text{ V}$$

Tensiunea bază emitor la un tranzistor cu siliciu trebuie să fie cca 0,6 V pozitivă față de masă, deci 1,6 V. Dacă amplificarea în curent este de exemplu 100 curentul de bază I_B va fi

$$I_B = \frac{I_c}{100} = \frac{1\text{ mA}}{100} = 0{,}01\text{ mA} = 10\ \mu\text{A}$$

Prin rezistența R_{B2} a divizorului de tensiune va trebui să circule un curent

$$I_2 = 5 \ldots 20\ I_B;\ I_2 = 10\ I_B = 100\ \mu\text{A}$$

Acum putem calcula rezistența R_{B2}

$$R_{B2} = \frac{1{,}6\text{ V}}{0{,}1\text{ mA}} = 16\text{ k}\Omega \text{ Alegem, } 15\text{ k}\Omega$$

Trebuie să calculăm rezistența R_{B1}. Prin ea circulă curentul:

$$I_1 = I_2 + I_B = 100\ \mu\text{A} + 10\ \mu\text{A} = 110\ \mu\text{A}$$

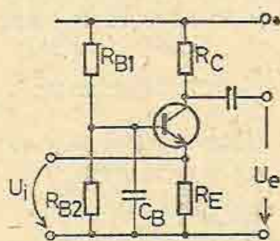


Fig. 15.12. Amplificator în montaj BC

și pe ea trebuie să avem o cădere de tensiune

$$U_1 = 10\ V - 1{,}6 = 8{,}4\ V$$

$$R_{B1} = \frac{8{,}4\ V}{0{,}11\ mA} = 76\ k\Omega \text{ și alegem } R_1 = 68\ K\Omega$$

Să considerăm un amplificator RC cu tranzistorul în conexiune BC așa cum este desenat în fig. 15.12. Calculul rezistențelor în curent continuu duce la aceleași rezultate ca în exemplu precedent. Spre deosebire de acesta semnalul de intrare este introdus prin emitor, iar baza este cuplată la masă printr-un condensator.

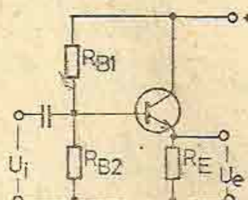


Fig. 15.13. Amplificator în montaj CC

În schema cu colectorul comun fig. 15.13 tensiunea de alimentare se împarte jumătate pe joncțiunea colector emitor și jumătate pe rezistența din emitor. Pe baza tranzistorului NPN trebuie să avem întotdeauna o tensiune de polarizare mai mare cu 0,6 V decît pe emitor. Totuși tensiunea pe bază este aproximativ jumătate din tensiunea de alimentare și atunci cele două rezistențe R_{B1} și R_{B2} trebuie să fie aproape egale pentru a se menține curentul de bază mult mai mic decît curentul prin divizor. Practic se aleg cele două rezistențe între 10 kΩ și 100 kΩ după cum dorim să avem rezistența de intrare a amplificatorului. Rezistența de emitor se calculează și în acest caz:

$$R_E = \frac{\frac{U_a}{2}}{I_e}$$

Test

Toate întrebările din acest test se referă la figura 15.14.

1. În ce fel de conexiune sînt conectate cele două tranzistoare.

a) T_1 în EC și T_2 în CC
b) T_1 în CC și T_2 în CC
c) T_2 în EC și T_2 în EC
d) T_1 în EC și T_2 în CC

2. Dacă fiecare tranzistor are un factor de amplificare în tensiune 50 iar la intrare se aplică o tensiune de 2 mV care este valoarea tensiunii la ieșire?

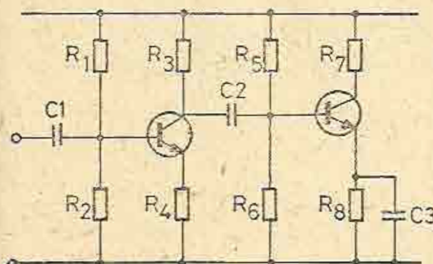


Fig. 15.14. Amplificator audio cu 2 etaje

a) 200 mV
b) 500 mV
c) 2 V
d) 5 V

3. Pentru stabilizarea punctului de lucru prin reacție sînt folosite rezistențele.

a) R_1 și R_5
b) R_2 și R_6
c) R_3 și R_7
d) R_4 și R_8

4. La ieșirea acestui montaj se măsoară și o tensiune continuă în afara celei alternative. Care este valoarea acestei tensiuni continui dacă tensiunea de alimentare $U_a = 12$ V

a) 0,5—0,7 V
b) 1—1,6 V
d) 2—4 V
e) 5—7 V

5. Ce fel de cuplaj există între cele două tranzistoare?

a) cuplaj prin condensator
b) cuplaj rezistiv
c) cuplaj inductiv
d) cuplaj galvanic

6. Tensiunea de alimentare a unui amplificator este 9 V. Reztența de lucru a acestui tranzistor este 3,3 kΩ. Dacă pe colector măsurăm 5,7 kΩ față de masă să se calculeze curentul de colector.

7. Care sînt deosebirile esențiale între cele trei moduri de conexiuni.

8. Care dintre cele trei moduri de conectare ale unui tranzistor are:

a) cea mai mare rezistență de intrare
b) cea mai mică rezistență de intrare
c) cea mai mică rezistență de ieșire
d) cea mai mare amplificare în putere
e) nu inversează semnalul

9. Care sînt avantajele și dezavantajele cuplajului prin transformator față de cuplajul prin condensator?

Răspunsuri:

1. *c*) 2. *d*) 3. *d*) 4. *d*) 5. *a*)

6. $I_c = \frac{9 - 5,7}{3,3} = 1$ mA

7. Conexiunea	EC	CC	BC
Amplificarea în curent	mare (< 100)	mare > 10	aproximativ 1
Amplificarea în tensiune	foarte mare > 100	aproximativ 1	foarte mare < 1000

8. *a*) CC *b*) BC *c*) CC *d*) CC și BC *e*) EC

9. Avantajele cuplajului prin transformator: adaptare foarte bună și amplificare în putere foarte mare. Dezavantaje: în audiofrecvență sînt mai scumpe decît condensatoarele.

Capitolul 16

Tranzistorul cu efect de cîmp (TEC)

16.1. Efectul de cîmp

Tranzistorul cu efect de cîmp (TEC) sau cum mai este numit în literatura de specialitate FET (field effect tranzistor) a apărut în ultimii ani. Deși efectul a fost descoperit încă din anul 1928 de Lilienfeld aplicația a apărut după mulți ani. Întîmplarea este asemănătoare cu cea a antenelor Yagi-Udda care au fost inventate în anul 1926 după care au trecut mulți ani pînă la dezvoltarea aproape de nebănuit a transmisiunilor în domeniul UUS, care a dus la răspîndirea acestor antene.

În cele ce urmează vom prezenta cele două tipuri de tranzistoare cu efect de cîmp, proprietățile lor precum și schemele de bază.

În principiu efectul de cîmp este următorul:

Dacă o plăcuță de semiconductor, de exemplu de tip n, este supusă unei tensiuni U_1 aplicată la capetele ei (numite sursă și drenă) prin ea circulă un curent format din purtătorii majoritari, electronii. Perpendicular pe direcția acestui flux de electroni se aplică între sursă și poartă (electrod) o a doua tensiune U_2 care crează un cîmp electric exterior. Datorită acestui cîmp secțiunea transversală a cristalului (canalul), prin care trec purtătorii de sarcină se micșorează, rezistența cristalului crește și drept urmare curentul care parcurge canalul scade. În principiu aceste tranzistoare pot fi considerate drept rezistoare controlate în tensiune.

După cum am amintit cele două capete ale cristalului semiconductor (care poate fi de tip n sau p) se numesc sursă (S) și drenă (D) iar electrodul pe care se aplică tensiunea de comandă, deci cîmpul exterior, se numește poartă (G de la „gate").

După modul de realizare al canalului deosebim două tipuri de tranzistoare cu efect de cîmp:

— tranzistoare cu efect de cîmp cu poartă joncțiune TEC-J
— tranzistoare cu efect de cîmp cu poartă izolată TEC MOS.

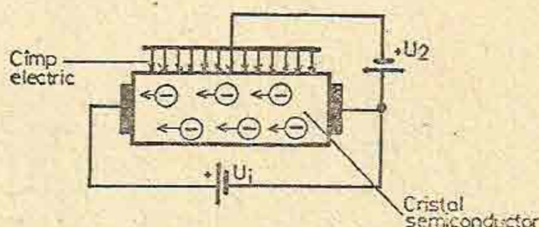


Fig. 16.1. Efectul de cîmp

16.2. Tranzistorul cu efect de cîmp cu portă joncţiune (TEC-J)

În figura 16.2 sînt prezentate schematic tranzistoarele TEC cu poartă joncţiune al căror canal este de tip n sau p.

În fig 16.2 *a* poarta este o regiune semiconductoare de tip opus celei care formează canalul. Efectul de cîmp se obţine pe joncţiunea poartă-sursă. Polarizînd invers această joncţiune şi aplicînd pe cele două terminale o tensiune continuă se obţine o regiune de sacină spaţială lipsită de purtători mobili, cu atît mai intinsă cu cît tensiunea inversă este mai mare. Cum conductanţa canalului este dată de circulaţia purtătorilor mobili pe care regiunea de sacină spaţială îi împuţinează, vom putea deci controla secţiunea canalului — şi deci curentul prin el — variind tensiune inversă dintre poartă şi sursă.

Deoarece intrarea TEC-J este de fapt o diodă semiconductoare polarizată invers, rezistenţa de intrare este foarte mare (sute sau mii de MΩ) iar curentul de poartă neglijabil faţă de curentul de drenă I_D. Dacă putem face similitudinea sursă — emitor, drenă — colector şi poartă — bază în comparaţie cu tranzistorul bipolar, trebuie atrasă atenţia că săgeata nu arată similitudinea cu emitorul ci indică anodul joncţiunii pn, ca triunghiul din simbolul unei diode.

REŢINEM: *Tensiunea dintre poartă şi sursă U_{GS} trebuie să polarizeze invers joncţiunea pn astfel ca să nu existe curent de poartă. Deci TEC-J cu canal n are poarta negativă faţă de sursă şi TEC-J cu canal p are poarta pozitivă faţă de sursă.*

S-a observat că polaritatea tensiunii U_{DS} nu este determinantă pentru funcţionarea tranzistorului cu efect de cîmp. El funcţionează şi cu polaritate inversă. Din considerente tehnologice există o polarizare preferenţială:

U_{GS} pozitivă şi U_{DS} negativă pentru canal *p*

U_{GS} negativă şi U_{DS} pozitivă pentru canal *n*

Deci totdeauna aceste tensiuni sînt opuse ca semn.
Pentru a descrie proprietăţile unui TECn avem la dispoziţie ca de altfel la toate dispozitivele electronice, curbele caracteristice.

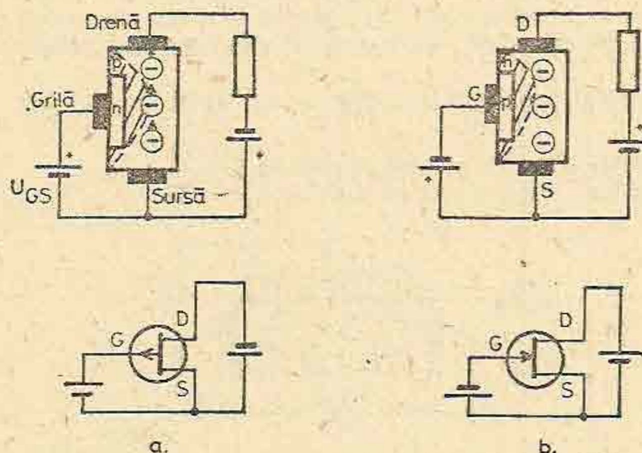


Fig. 16.2. Tranzistorul TEC cu poartă joncţiune: *a)* cu canal n; *b)* cu canal p

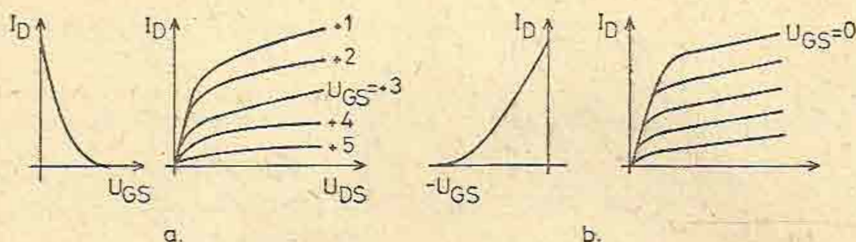


Fig. 16.3. Caracteristicile de transfer şi de ieşire: *a)* TEC-p; *b)* TEC-n

Deoarece curentul de poartă este practic nul nu se poate vorbi de o caracteristică de intrare a TEC. De aceea se dau numai curbele de dependenţă între tensiunea de comandă U_{GS} şi curentul de ieşire I_D (curentul de drenă) şi curbele caracteristice de ieşire, reprezentînd dependenţa dintre U_{DS} şi I_D.

16.3. TEC cu poartă izolată.

Aceste tranzistoare se mai numesc şi TEC MOS deoarece între poartă şi canal se află nu strat izolator de bioxid de siliciu, astfel că pe direcţia de aplicare a cîmpului electric exterior apare o structură Metal-Oxid-Semiconductor, prescurtat MOS.

De data aceasta poarta nu mai este o regiune semiconductoare ci este un strat metalic de pus peste canal şi separat de acesta printr-un strat foarte subţire izolator. Rezultă deci o structură de sandwich cu ordinea metal-oxid-semiconductor (MOS).

Sursa şi drena sînt constituite prin difuzie din două regiuni dotate corespunzător.

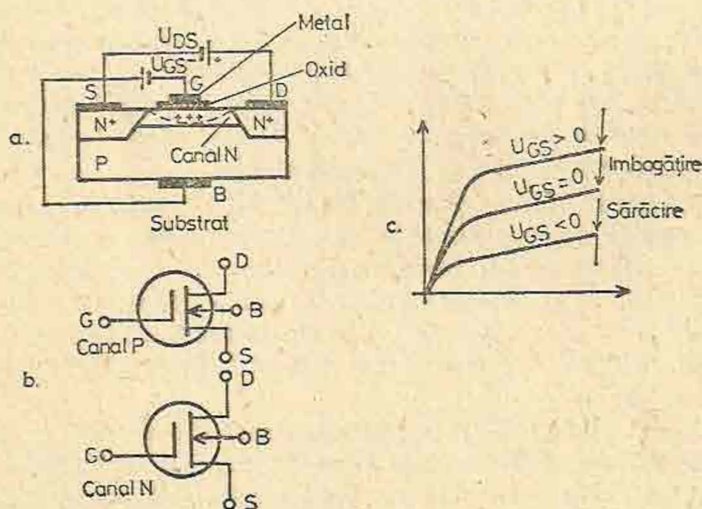


Fig. 16.4. TEC cu canal iniţial: *a)* construcţie; *b)* simboluri; *c)* caracteristici de ieşire

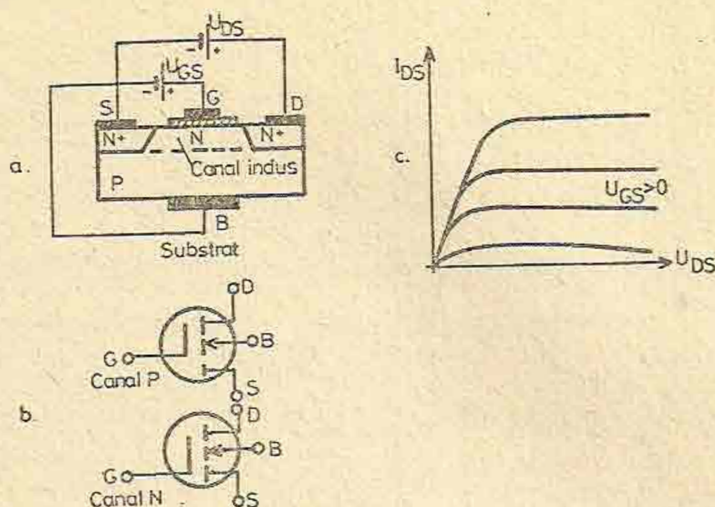


Fig. 16.5. TEC-MOS cu canal indus: *a)* construcție; *b)* simbol; *c)* caracteristici de transfer

De asemeni canalul dintre drenă și sursă poate fi format prin însuși procedeul de realizare al TEC MOS, sau poate apare abia la aplicarea unei tensiuni de poartă corespunzătoare. În primul caz traseul purtătorilor de sarcină este îngustat și prin aceasta curentul de drenă I_D scade. Acesta este TEC cu strat sărăcit sau altfel numit TEC cu canal inițial. La acest tip de tranzistor circulă un curent de drenă și fără aplicarea unei tensiuni U_{GS} între poartă și sursă; o tensiune mai mare duce la scăderea curentului de drenă, iar o tensiune inversă ca polaritate provoacă o crește a acestui curent. La celălalt tip de TEC MOS cu strat îmbogățit sau cu canal indus, canalul dintre drenă și sursă nu este dotat. De aceea dacă tensiunea dintre poartă și sursă, U_{GS} este nulă, nu circulă nici un curent de drenă I_D. Spunem că TEC cu strat îmbogățit este autoblocat. Dacă pe poartă se aplică o tensiune, cîmpul creat astfel atrage purtătorii de sarcină din substrat în apropierea porții. În felul acesta se formează canalul.

În continuare vom explica simbolurile standardizate pentru tranzistoarele cu efect de cîmp cu poartă izolată. Întreruperea canalului între drenă și sursă se reprezintă ca o întrerupere și în simbol. Poarta izolată se lasă un interval între poartă și canal. Deoarece la TEC MOS există o joncțiune *pn* între substrat și canal, aceasta va fi simbolizată printr-o săgeată. De exemplu pentru tipul cu canal *n* săgeata este orientată dinspre substratul *p* către canalul *n*.

Dacă la un TEC MOS substratul este scos din carcasă ca electrod separat atunci se leagă cu terminalul de sursă. Există TEC MOS care au două terminale pentru poartă astfel că într-un montaj de mixer se pot aplica două semnale diferite pe aceste terminale. Astfel de dispozitive se numesc TEC MOS-Dual.

16.4. Parametri de semnal mic ai TEC

Vom defini cîțiva paramètri mai des utilizați în practica. Definirea lor se face mai intuitiv deoarece altfel ar necesita cunoștințe matematice avansate.

Deoarece între poartă și sursă circulă un curent foarte mic, cu ajutorul legii lui Ohm se poate defini o așa numită rezistență de intrare:

$$R_i = \frac{U_{GS}}{I_G}$$

unde U_{GS} este tensiunea dintre sursă și poartă

I_G este curentul rezidual de poartă

Inversul acestei mărimi este conductanța de intrare g_{in}

$$g_{in} = \frac{1}{R_{in}} = \frac{I_G}{U_{GS}}$$

Acest parametru se utilizează în locul rezistenței de intrare deoarece valoarea sa este extrem de mare, zeci de Gigaohmi.

Cu ajutorul caracteristicii de transfer se poate defini transconductanța TEC. Acest parametru este denumit și pantă pentru că definește înclinarea caracteristicii.

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} \Bigg| \; U_{DS} = const.$$

I_D — curentul de drenă

U_{GS} = tensiunea poartă sursă

Acest parametru poate da cîștigul unui TEC într-un montaj anume, deoarece variația curentului de drenă pe o rezistență de sarcină constantă este proporțională cu variația tensiunii de ieșire. Deci panta este proporțională cu amplificarea în tensiune a TEC.

Exemplu: Să se calculeze transconductanța g_m în punctul de funcționare T de pe caracteristica de transfer din fig. 16.6. Pentru o variație $\partial U_{GS} = 2$V citim între capetele tangentei în T variația de 4 mA a curentului de drenă ∂I_D

$$g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = \frac{4 \text{ mA}}{2 \text{ V}} = 2 \text{ mA/V}$$

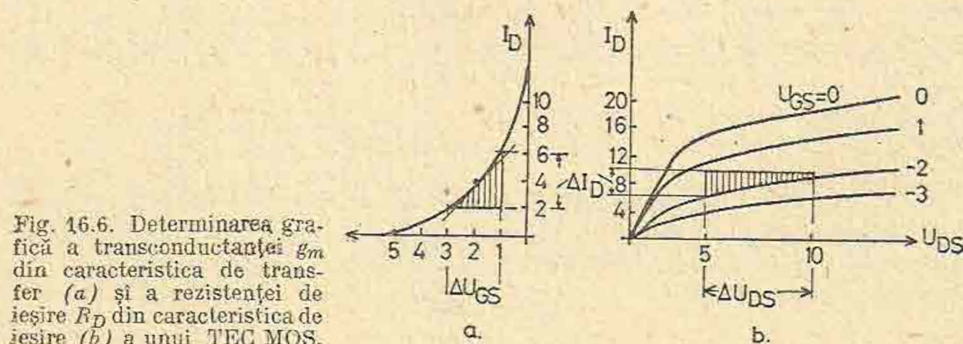


Fig. 16.6. Determinarea grafică a transconductanței g_m din caracteristica de transfer *(a)* și a rezistenței de ieșire R_D din caracteristica de ieșire *(b)* a unui TEC MOS.

Observăm că dacă panta crește odată cu scăderea tensiunii U_{GS} ea va fi maximă cînd această tensiune va fi nulă și I_D maxim. Deci practic este avantajoasă funcționarea TEC la curenți I_D mari.

Din caracteristicile de ieșire ale TEC se poate defini rezistența de ieșire R_D sau inversa ei, conductanța de ieșire g_d pentru U_{GS} = constant.

$$R_d = \frac{\partial U_{DS}}{\partial I_D} \Bigg| U_{GS} = \text{const}$$

Pe caracteristica de ieșire din fig 16.6. *b* la $U_{GS} = -2$ V pentru o variație a tensiunii dintre drenă și sursă de la 4 la 6 volți obținem o variație de numai 1 mA a curentului de drenă.

$$R_D = \frac{4\ \text{V}}{1\ \text{mA}} = 4\ \text{k}\Omega$$

Pe caracteristica de ieșire se trasează o curbă, mai exact o parabolă care unește punctele unde începe zona de saturație a curentului I_D. Aceste puncte indică tensiunile de comandă U_{DS} de la care pornind tranzistorul lucrează în regim liniar. Sub aceste valori funcționarea este neliniară obținîndu-se distorsiuni mari.

16.5. TEC în regim de amplificare

Tranzistoarele cu efect de cîmp nu oferă cîștiguri mari în tensiune dar cîștigurile sînt foarte mari în curent și în putere cu distorsiuni mici.

După modul cum se aplică semnalul de intrare și se extrage semnalul de ieșire, sau astfel spus după electrodul care este comun intrării și ieșirii, deosebim trei moduri de conexiune: sursă comună, drenă comună numit și repetor pe sursă și cu poartă comună. Pentru exemplificări alegem un TEC-J.

Schema practică cea mai utilizată este cu *sursa comună* (fig. 16.7). Sursa este pusă la masă din punct de vedere alternativ prin reactanța mică a condensatorului C_s. Curentul I_{DS} polarizează negativ rezistența R_s și se stabilizează un punct de funcționare al tranzistorului prin aplicarea acestei tensiuni pe R_g. În joasă frecvență R_g se alege circa 1 MΩ, iar în radiofrecvență între 10 și 100 kΩ. Mărimea rezistenței R_s este determinată de tensiunea U_{GS} și curentul de drenă I_D care circulă prin ea

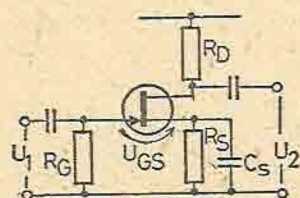


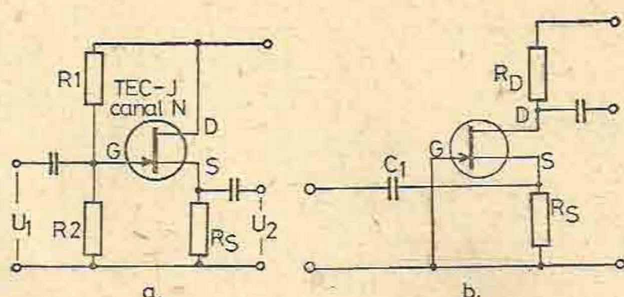
Fig. 16.7. Amplificator în schema cu sursă comună

$$R_s = \frac{-U_{GS}}{I_D}$$

Rezistența de drenă se calculează asemănător cu rezistența de colector la tranzistoarele bipolare. Tensiunea pe această rezistență de drenă este: $U_{RD} = U - U_{DS} - U_{Rs}$. Conform legii lui Ohm

$$R_D = \frac{U_{RD}}{I_D}$$

Fig. 16.8. Amplificator în schemă: a) cu drenă comună; (b) cu poartă comună



Calculul condensatorului de cuplaj C_s depășește cadrul acestei cărți. Limitele valorice ale acestui condensator sînt date de reactanța sa capacitivă X_c la frecvențele cele mai joase și rezistența R_G.

Vom da mai departe formula de calcul a amplificării în tensiune a acestui montaj atunci cînd se cunosc rezistența de drenă R_D, rezistența de ieșire r_{DS} precum și transconductanța g_{ds}

$$A_u = \frac{R_D r_{ds}}{R_D + r_{ds}} \cdot g_{ds}$$

După cum am mai amintit această amplificare nu este de loc mare, dar impedanța de intrare foarte ridicată este un avantaj important pentru utilizarea TEC la amplificarea semnalelor foarte mici.

Montajul cu drenă comună se aseamănă cu repetorul pe emitor și chiar se numește repetor pe sursă (16.8.*a*). Se numește repetor pe sursă deoarece pe rezistența de sursă se obține tensiunea de ieșire. Cîștigul în tensiune este subunitar (0,7—0,9). Rezistența de intrare este foarte mare, capacitatea mică, rezistența de ieșire este de asemenea mică și, lucru important, semnalul de ieșire în fază cu cel de intrare. Deoarece capacitatea de intrare este mai mică decît la montajul cu sursă comună, repetorul pe sursă se pretează mai bine la funcționarea în înaltă frecvență. Repetorul pe sursă este un transformator de impedanță care adaptează o rezistență de sarcină mică la un generator de impedanță foarte mare, cum ar fi un microfon sau un amplificator de RF cu circuit acordat.

Montajul cu *poartă comună* (fig. 16.8.b) prezintă o rezistență de intrare destul de mică, o rezistență de ieșire mare, amplificarea în curent unitară și semnalul de ieșire în fază cu cel de intrare.

16.6. Cîteva aplicații practice ale tranzistorului cu efect de cîmp

Tranzistoarele cu efect de cîmp se utilizează acolo unde este nevoie de o impedanță de intrare foarte mare și distorsiuni mici. Montajul din fig. 16.9 amplifică semnale de nivel foarte mic provenind de la o sursă de semnal cu rezistență internă de ordinul zecilor de kΩ. TEC-J combinat cu un tranzistor bipolar care asigură o amplificare în tensiune destul de mare.

Amplificatorul de intrare din fig. 16.10 valorifică avantajele TEC manifestate la înaltă frecvență; capacitatea de intrare și reacția redusă, factorul

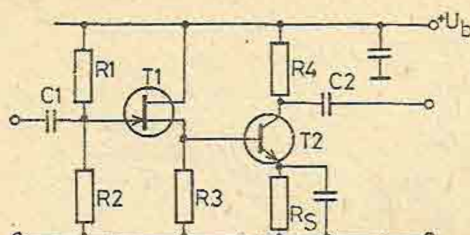


Fig. 16.9. Amplificator de intrare cu TEC în schemă cu drenă comună

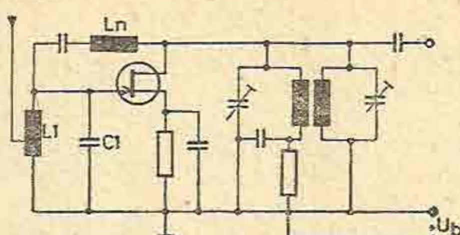


Fig. 16.10 Amplificator de intrare a unui receptor UUS

de zgomot mic, stabilitatea şi mai ales impedanţa de intrare foarte mari, şi distorsiuni mici. Radioreceptorul echipat cu un astfel de amplificator de intrare oferă recepţii foarte bune pentru staţii îndepărtate (DX)

Se observă că antena este cuplată direct la o priză a bobinei L_1, aceasta neamortizînd circuitul oscilant de la intrare. L_2 este o bobină de neutralizare care împiedică eventualele oscilaţii care ar putea apare datorită reacţiei prin capacitatea dintre drenă şi poartă. La ieşire se află un filtru acordat pe frecvenţa centrală a benzii recepţionate.

Pentru a putea măsura cît mai precis o tensiune trebuie ca prin instrument să circule un curent cît mai mic. De aceea este nevoie ca impedanţa prezentată de voltmetru să fie cît mai mare. În montajul din fig. 16.11 este utilizat un amplificator cu drenă comună în al cărui circuit de sursă este montat miliampermetrul. Schimbarea domeniului de măsură se face cu ajutorul unui divizor de tensiune rezistiv.

O altă aplicaţie simplă, dar foarte practică a TEC, este montajul ca sursă de curent constant. Generatorul de curent constant este un circuit cu o rezistenţă internă foarte mare. Curentul care circulă prin el este independent de tensiunea care se aplică la borne. Dacă punctul de funcţionare al unui TEC J este stabilit pentru curentul de drenă I_D *maxim*, pentru o variaţie destul de mare a tensiunii U_{DS} vom obţine o variaţie neglijabilă a I_D. Rezistenţa R_s stabileşte tensiunea U_{GS} şi prin aceasta curentul I_s dorit.

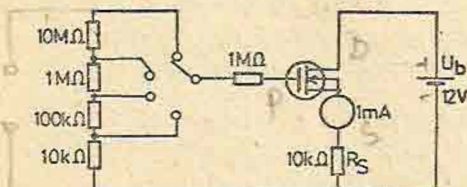


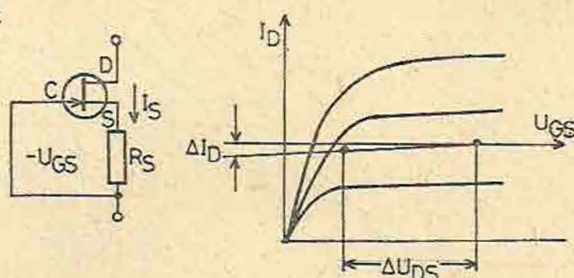
Fig. 16.11. Voltmetru electronic cu impedanţă mare de intrare

Puteţi încerca o astfel de sursă de curent constant cu un TEC BF 244 în al cărui crcuit de sursă conectaţi o rezistenţă de 4,7 kΩ. Între drenă şi sursă tensiunea va fi variată între 2 şi 12 V. Curentul prin R_s va avea variaţii foarte mici.

16.7. Valori limită şi precauţii de manipulare a TEC

Tranzistoarele cu efect de cîmp cu poartă joncţiune, TEC-J, care nu sînt protejate interior pot fi distruse uşor prin depăşirea tensiunii directe pe joncţiunea poartă-sursă. De aceea se folosesc circuite de limitare la intrare cu diode de comutaţie. În montajul din fig.16.12 diodele rămîn blocate cît timp tensiunea de intrare nu depăşeşte 0,5V. Cînd se depăşeşte ni-

Fig 16.12. Sursă de curent constant



velul de prag într-un sens sau altul, dioda respectivă se deschide conducînd un anumit curent. În acest fel nu se depășesc limitele admise de la intrarea TEC.

Ca la orice dispozitiv semiconductor, și la TEC depășirea limitelor admise ale tensiunilor de alimentare sau polarizare duce la distrugere. Chiar atunci cînd se cunosc datele din catalog, dispersia mare a parametrilor ne obligă la precauția de a reduce cu 10—20% valorile maxime indicate în cataloage.

Tranzistoarele MOS se pot distruge în timpul montajului în circuit sau chiar la simpla atingere a terminalului porții, cînd pot apare descărcări electrostatice. O sursă de tensiune electrostatice este spuma de polistiren expandat în care se transportă de obicei componentele semiconductoare. Oxidul de poartă poate fi distrus și de tensiunile generate de aparatele de testare precum și de ciocanul de lipit dacă acestea nu sînt legate la priza de pămînt. Multe TEC MOS sînt livrate cu inele elastice care scurtcircuitează terminalele. Este bine ca aceste inele să nu fie îndepărtate decît după montare TEC MOS ului. În ultimul timp au apărut tranzistoare MOS protejate cu diode Zener integrate.

Trebuie să mai reținem că nu vom scoate din circuit un TEC cu sursa de alimentare conectată și nu vom aplica semnal la intrare dacă montajul nu este alimentat.

Test

1. Care este simbolul corect al unui tranzistor cu efect de cîmp cu poartă, joncțiune și canal n?
2. Care este simbolul corect pentru un TEC MOS cu canal p?
3. Care dintre conexiunile următoare are impedanța de intrare cea mai mare?
   a) Colector comun b) Emitor comun
   b) Emitor comun c) Drenă comună d) sursă comună
4. Cum se numesc electrozii unui tranzistor cu efect de cîmp și care sînt corespondenții lor la un tranzistor bipolar?
5. Cum se definește transconductanța unui TEC?
6. Desenați schema unui amplificator de JF cu TEC

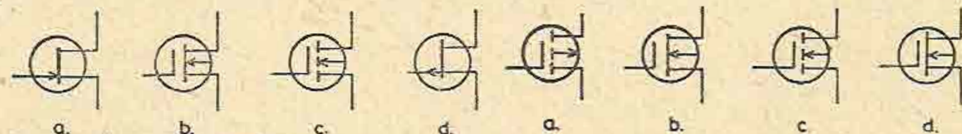


Fig. 16.13. Fig. 16.14.

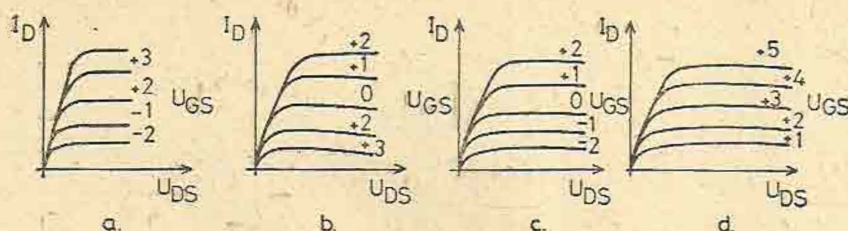


Fig. 16.15.

7. Ce este un transformator de impedanță?
8. Desenați schema unui repetor pe sursă.
9. Desenați o sursă de curent constant cu TEC.
10. Care este caracteristica de ieșire corectă a unui TEC cu poartă joncțiune cu canal **n**.

Răspunsuri:

1. *b*
2. *c*
3. *d*
4. Poartă — bază, sursă — emitor, drenă — colector
5. Transconductanța sau panta unui TEC este $g_m = \frac{I_D}{U_{GS}} \Big| U_{DS} = \text{const.}$
6. Figura 16.8
7. Un transformator de impedanță prezintă o rezistență de intrare mare și o rezistență de ieșire mică, în timp ce amplificarea este practic egală cu unitatea.
8. Figura 16.8
9. Figura 16.12
10. Figura 16.15 *b*

Capitolul 17

Tuburi electronice

În ultimii ani tehnica dispozitivelor semiconductoare a evoluat atît de mult încît emițătoarele și radioreceptoarele moderne sînt echipate aproape în întregime cu dispozitive semiconductoare. Mare parte din funcțiunile pe care le aveau tuburile electronice înainte vreme, au fost preluate de diode semiconductoare, tranzistoare, circuite integrate. În urmă cu mai mulți ani un astfel de manual acorda un spațiu preponderent tuburilor electronice, iar pentru dispozitivele semiconductoare se făcea mai mult o introducere teoretică. Acum vom trata tuburile electronice într-un capitol pentru că există motive să le cunoaștem. Astăzi este mai ușor și mai ieftin să construim un radioemițător de putere mai mare cu tuburi electronice. Și dacă avem la dispoziție un aparat mai vechi echipat cu tuburi să nu-l putem repara?

17.1. Emisia termoelectronică

Tuburile electronice sînt dispozitive care funcționează în baloane vidate de sticlă de diferite forme. Prin soclul de sticlă trec terminale care fac legăturile cu electrozii tubului. Terminalele sînt astfel ordonate pentru a fi introduse într-un soclu montat pe șasiul aparatului.

Deoarece în tub este vid înaintat nu există purtători de sarcină. Funcționarea tuburilor electronice se bazează pe emisia termoelectronică. Un fir metalic este încălzit la incandescență și cu cît temperatura de încălzire este mai înaltă cu atît agitația electronilor liberi din metalul filamentului va crește și aceștia vor putea învinge forțele cu care sînt atrași de ionii conductorului și vor putea părăsi suprafața metalului. Acest electrod se numește catod și acum putem spune că are rolul emitorului din tranzistor.

Catodul trebuie încălzit tot timpul funcționării tubului electronic iar această încălzire era la începuturi directă și mai apoi indirectă. Un filament termorezistent era acoperit cu un strat termoemisiv din oxid de Bariu. In tuburile electronice cu încălzire indirectă filamentul încălzește un tub subțire din metal emisiv izolat electric față de filament. Acesta este catodul.

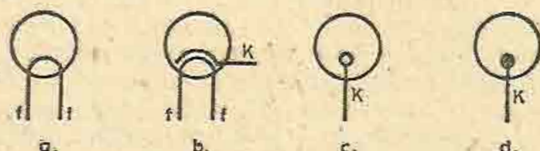


Fig. 17.1. Simbolurile tuburilor: *a)* cu încălzire directă; *b)* cu încălzire indirectă; *c)* cu catod rece; *d)* cu catod cald.

Cînd filamentul este aliminat cu tensiunea de încălzire catodul se înroșește și-l putem vedea prin balonul de sticlă cînd tubul este în funcție.

Tuburile electronice își iau denumirea de la numărul electrozilor care intră în componența lor. Există deci diode, triode, tetrode, pentode, etc. numite astfel de la numeralele grecești.

17.2. Dioda

Diodă are doi electrozi: un catod și un anod. Dacă se leagă catodul la minusul și anodul la plusul unei surse de curent continuu, electronii emiși de catod sînt atrași de anod. Deci avem un curent care circulă de la catod la anod în sensul real al curentului. Dacă anodul este legat la minus electronii emiși de catod sînt respinși de anod și prin diodă nu mai circulă curent. Deci dioda conduce numai într-un sens. Tensiunea dintre anod și catod se numește tensiune anodică iar curentul care circulă prin diodă în stare de conducție se numește curent anodic. Dacă tensiunea anodică este mică foarte

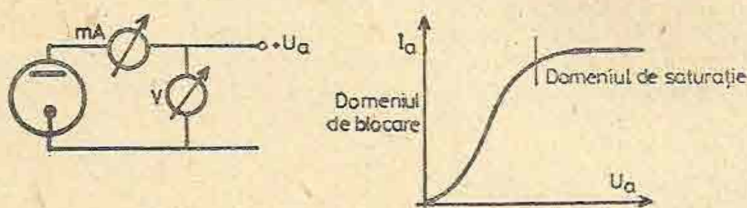


Fig. 17.2. Ridicarea caracteristicii unei diode.

puțini electroni vor ajunge la anod și deci curentul anodic va fi mic. Odată cu creșterea tensiunii anodice electronii sînt accelerați spre anod și vor fi atrași în totalitate. Peste o anumită tensiune curentul nu mai crește și spunem că a atins pragul de saturație.

Dioda cu vid are aceleași funcțiuni ca dioda semiconductoare și în momentul actual a fost aproape complet înlocuită de acestea din urmă.

17.3. Trioda

Trioda are un electrod în plus față de diodă. Între anod și catod se află o rețea înfășurată în jurul catodului pe două fire izolate de susținere formînd astfel electrodul de comandă.

Tuburile electronice își au originea în lampa cu incandescență inventată de Edison în anul 1884. Atunci a fost observat efectul emisiei electronilor de către un corp incandescent. Dar invenția americanului Lee de FOREST care în 1910 a introdus grila de comandă a condus la posibilitatea amplificării semnalelor electrice. IN 1918 trioda a fost introdusă în radiotelegrafie și nu mult după aceea au apărut primii radioamatori.

Să facem un montaj cu o triodă obișnuită. Filamentul îl vom încălzi la 6,3 V. În circuitul anodic montăm un miliampermetru, anodul fiind alimentat la o tensiune continuă între 100 și 200 Volți. Între grilă și catod se aplică o tensiune de variabilă în trepte de la 0 la 6 V. Vom avea grijă ca minusul să fie pe grilă iar plusul la catod.

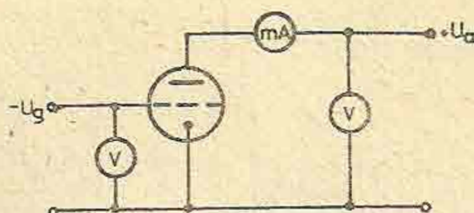


Fig. 17.3. Montajul experimental pentru ridicarea caracteristicilor triodei

Vom avea mai multă grijă decît la montajele cu tranzistoare și nu vom atinge nimic atîta timp cît montajul se află sub tensiune. Tensiunile mai mari decît 48 Volți sînt periculoase!

În experimentul nostru vom observa că, cu cît mai negativă va fi tensiunea grilei față de catod cu atît mai mic va fi curentul anodic. Deci tensiunea de grilă comandă curentul anodic. Și aici, ca la tranzistorul cu efect de cîmp, prin circuitul de grilă necirculînd nici un curent, comanda tubului electronic se face fără consum de putere.

Dacă menținem constantă o anumită valoare a tensiunii anodice, vom măsura curentul anodic în funcție de variația tensiunii de grilă. Se obține o curbă caracteristică de comandă sau altfel-numită, caracteristică de transfer. Din această curbă putem defini *panta tubului S*, asemănător cu panta definită la TEC

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}$$ pentru $U_a =$ constant

Δ desemnează o mică variație a mărimii înaintea căreia a fost așezată.

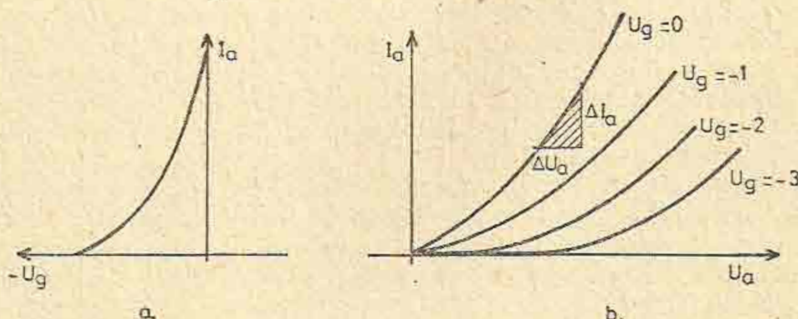


Fig. 17.4. Caracteristica de comandă *(a)* și caracteristica de ieșire *(b)* a unei triode.

Reținem: *Panta arată cu cît variază curentul anodic la o variație de* 1V *a tensiunii de grilă.*

Un alt paramtru important este rezistența internă. Dacă menținem constantă tensiunea de grilă și măsurăm variația curentului anodic în funcție de variația tensiunii anodice obținem caracteristica anodică sau caracteristica de ieșire a triodei. Pe această caracteristică la o variație a tensiunii anodice îi corespunde o variație a curentului anodic. Din raportul aces-

tor variații se obține *rezistența internă* R_i pentru o anumită tensiune de comandă pe grilă.

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \text{ pentru } U_g = constant$$

Un al treilea parametru al tuburilor electronice este *factorul de amplificare* care este definit de următoarea expresie:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \text{ pentru } I_a = \text{constant}$$

Acest parametru arată că amplificarea în tensiune este cu atît mai mare cu cît μ *este mai mare*.

Între cei trei parametri există o relație obținută prin înmulțirea lor.

$$\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

$$\mu = S \cdot R_i$$

Triodele au următoarele funcțiuni: principale: amplificatoare, oscilatoare și detectoare.

Amplificatoare cu triode

Triodele pot fi montate în trei tipuri de scheme, după electrodul care este comun atît intrării cît și ieșirii etajului. Altfel spus după electrodul care este legat la masă. Deosebim deci montaj cu catodul la masă, cu grila la masă și cu anodul la masă.

Schema cea mai utilizată este montajul cu catodul la masă. Tubul se comandă pe grilă, iar rezistența de sarcină R_s se află în circuitul anodic.

În schema cu grila la masă semnalul de comandă se aplică pe catod, iar rezistența de sarcină se află tot în circuitul anodic. În schema cu anodul la masă semnalul de intrare se aplică pe grilă, dar rezistența de sarcină se află în circuitul catodic.

După cum am mai amintit cea mai utilizată schemă este cea cu catodul la masă și se utilizează în amplificatoarele de tensiune de frecvență nu prea

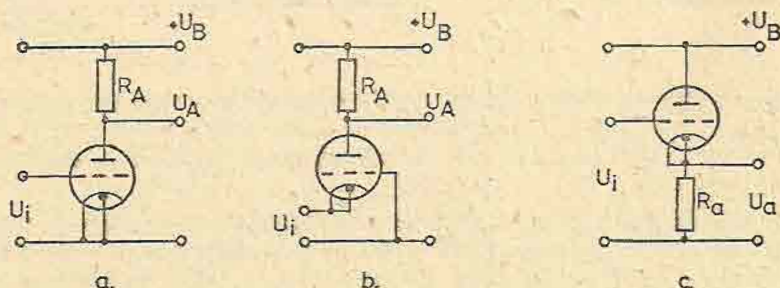


Fig. 17.5. Modurile de conexiune ale tuburilor: *a)* cu catodul la masă; *b)* cu grila la masă; *c)* cu anodul la masă.

mare. La frecvențe înalte se folosește etajul cu grila la masă. În cele din urmă schema cu anodul la masă se folosește mai ales în etajele „repetoare".

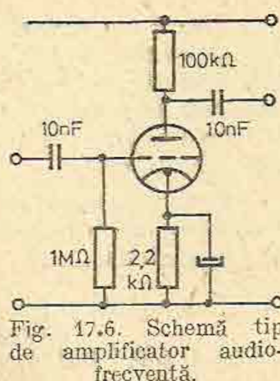


Fig. 17.6. Schemă tip de amplificator audiofrecvență.

Să examinăm o schemă tipică de amplificator de audiofrecvență cu catodul la masă. Pentru ca etajul de amplificare să funcționeze este necesar ca grila să fie polarizată negativ față de catod. În circuitul de catod se montează o rezistență R_k numită rezistență de negativare automată. Prin ea circulă curentul anodic, iar capătul dinspre catod va fi pozitiv față de grilă, care acum este la un potențial negativ. Pentru a nu influența valoarea acestei tensiuni prin aplicarea unui semnal variabil pe grilă se montează în paralel un condensator de capacitate mare, electrolitic, C_k. Acesta trebuie să se comporte ca un scurtcircuit chiar la cele mai joase frecvențe la care funcționează amplificatorul. De aceea valoarea să se alege astfel ca reactanța sa la cea mai joasă frecvență să fie de 10 ori mai mică decît rezistența de negativare.

$$\frac{1}{C_k}=\frac{R_k}{10}$$

Aceste amplificatoare funcționează la tensiuni anodice destul de mari din cauza căderii de tensiune pe rezistența anodică R_a. În aceste amplificatoare se folosesc triode cu μ mare pentru a asigura amplificări de ordinul 50—70.

Un dezavantaj al triodei este apariția unei capacități parazite între grilă și anod, ceea ce duce la reacții nedorite. Acest neajuns a fost eliminat prin montarea unei grile suplimentare. Astfel au apărut tetroda și apoi pentoda.

17.4. Tetroda

Grila suplimentară introdusă între anod și grila de comandă se numește grilă ecran. Ea ecranează grila de comandă față de cîmpul electric al anodului, micșorînd capacitatea parazită dintre grilă și anod. Grila ecran este conectată la o tensiune pozitivă care accelerează electronii care ajung în cea mai mare parte la anod. Foarte puțini dintre ei se opresc pe ecran. Factorul de amplificare crește foarte mult, ajungînd la cîteva sute. Datorită factorului de amplificare atît de mare tetroda este foarte folosită și acum în radioemițătoare.

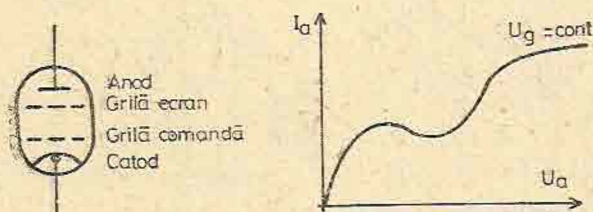


Fig. 17.7. Simbolul și caracteristica unei tetrode.

Totuși din cauza vitezei mari a electronilor care ajung la anod este posibil ca aceștia să smulgă alți electroni din metalul anodului (emisie secundară) care sînt atrași de grile ecran. In acest fel curentul anodic scade în timp ce curentul de ecran crește. Acest fenomen se petrece pînă la un anumit prag al tensiunii anodice ceea ce se vede pe caracteristica de ieșire ca o neliniaritate pronunțată.

Pentru a se evita acest neajuns se introduc niște ecrane de deflexie obținîndu-se tetrode cu fascicul dirijat sau, se mai introduce o grilă construind astfel pentoda.

17.5. Pentoda

Pentoda are deci trei grile — de comandă, ecran și supresoare. Aceasta din urmă se leagă la catod fiind astfel negativă față de anod. Supresoarea împiedică electronii secundari emiși de anod să mai ajungă la ecran.

Pentodele au un factor de amplificare foarte mare care poate ajunge la cîteva mii. Panta caracteristicii pentodei este asemănătoare ca valoare cu cea a triodei sau tetrodei, dar rezistența internă a pentodei este foarte mare.

Dacă examinăm curbele caracteristice ale pentodei observăm că seamănă foarte mult cu caracteristicile de ieșire ale tranzistorului bipolar.

Pentodele se foloseau în radioreceptoarele cu tuburi în aproape toate etajele acestora deci atît în radiofrecvență cît și la frecvențe mai joase.

În figura nr. *17.9* sînt date schemele tipice de amplificatoare echipate cu pentode care funcționează în audio și în radiofrecvență. În aceste scheme ne atrag atenția și circuitele de grilă ecran. De cele mai multe ori grila ecran

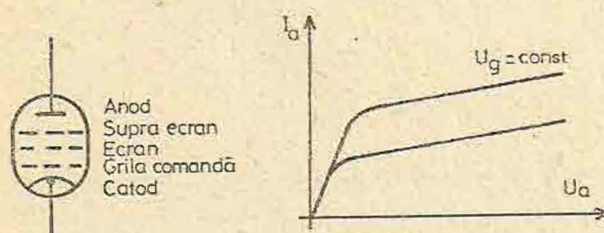


Fig. 17.8. Simbolul și caracteristica unei pentode.

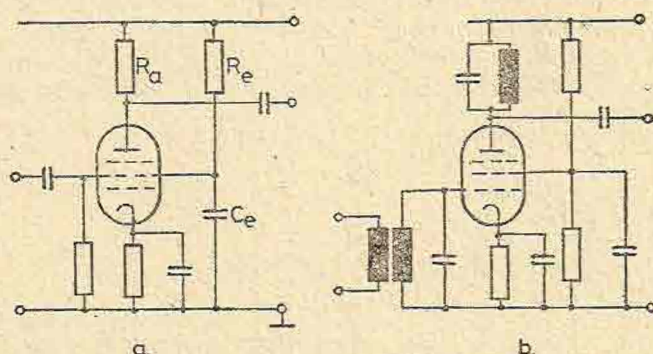


Fig. 17.9. Amplificator cu pentodă: *a)* amplificator audiofrecvență *b)* amplificator de radiofrecvență

trebuia să lucreze la o tensiune mai mică decît tensiunea anodică și atunci polarizarea sa se făcea printr-o rezistență de reducere R_e. Condensatorul C_e scurtcircuitează la masă componentele alternative ale curentului de ecran.

În alte cazuri tensiunea de ecran se obține printr-un divizor de tensiune, din tensiunea de alimentare anodică.

17.6. Tuburi electronice complexe

În afara tuburilor prezentate pînă acum mai există și tuburi mai complexe: cu mai multe grile, combinate, cu descărcări în gaze etc.

Tuburile multigrilă sînt:

— hexoda — tubul cu șase electrozi dintre care patru grile: prima și a treia de comandă iar a doua și a patra — grile de ecran.

— heptode sau pentagrile și octoda.

Aceste tuburi erau utilizate la mixarea a două frecvențe avînd două grile de comandă.

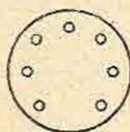
În afară de aceste tuburi mai există tuburile combinate care simplificau montajele și scădeau prețul de cost al aparaturii. Se fabricau duble diode, duble triode, trioda-pentoda, trioda hexoda și chiar dubla pentodă. Despre utilizarea acestora vom aminti în capitolele următoare unde vom prezenta diferite circuite electronice specifice radiorecepției sau emisiei.

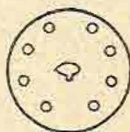
17.7. Indicativele tuburilor electronice.

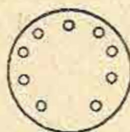
Pe la mijlocul anilor '30 a apărut primul tip de soclu pentru tuburi electronice. Cu timpul diversificarea a fost foarte mare aproape fiecare firmă avînd un anumit soclu. Abia prin anii '60 soclurile au căpătat forme aproape asemănătoare mai ales datorită progresului tehnologic. Vom prezenta numai pe acestea din urmă deoarece este mai mare probabilitatea de a mai fi întîlnite în aparatura încă în stare de funcționare. Deci tuburi octal, noval, magnoval, decal și miniatură. Cîte un soclu din fiecare tip este reprezentat schițat în fig.

Tuburile de recepție, de emisie, folosite în receptoare de televiziune, în amplificatoare audio, în redresoare și multe alte aparate sînt notate cu diferite coduri formate din litere și cifre.

Sistemul de notație sovietic și american este format în felul următor: prima cifră arată tensiunea de încălzire a filamentului, urmată de o literă care indică numărul de electrozi, apoi iar o cifră care indică seria de fabricație.







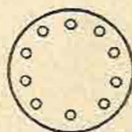


Fig. 17.10. Soclurile celor mai uzitate tipuri de tuburi electronice

Literele în sistemul sovietic au semnificațiile:

A — diodă	К — pentodă cu pantă variabilă
X — dublă triodă	A, λ — schimbător de frecvență
C — triodă	Г — diodă-triodă
H — dublă triodă	Б — diodă pentodă
Э — tetrodă	Ф — triodă-pentodă
П — Tetrodă cu fascicul	E — indicator de acord
Ж — pentodă cu pantă fixă	Ц — redresoare

Al patrulea element, tot o literă arată caracteristici constructive

C — tub de sticlă normal
Ж — tub ghindă
A — tub subminiatură 6 mm
Б — Tub subminiatură 10 mm
P — tub subminiatură 4 mm
Л — Tub cu blocare în soclu
П — tub heptal sau noval

Semnificația literelor și cifrelor din sistemul european este dată în tabelul 17.1. La acest sistem este folosit de firme producătoare de tuburi electronice din țări europene precum R.S. Cehoslovacia, R.P. Ungară, Olanda, R.D. Germană, R.F. Germania etc.

Tabelul 17.1.

Codul european al tuburilor electronice de recepție

Prima literă — încălzirea

A	= %,4 V	(vechi)		L tetrodă și pentodă finală
B	= 180 mA	(vechi)		H hexodă și heptodă
C	= 200 mA	(vechi)		K octodă și heptodă
D	= 1,%			M tub indicator
E	= 6,3 V			Y diodă redresoare
G	= 5 V			Z dublă diodă redresoare
H	= 150 mA			
K	= 2 V	(vechi)		
P	= 300 mA			
U	= 100 mA			
V	= 50 mA			
X	= 600 mA			

prima cifra arată tipul de soclu:	*a doua literă* — construcția și utilizarea
2 decal	A diodă exclusiv redresoare
3 octal	B dublă diodă cu catod comun
5 magnoval	C triodă (nu finale)
8 noval	D triodă finală
9 miniatură	E tetrodă (nu finale)
	F pentodă (nu finale)

Mai departe vom da semnificația literelor codurilor pentru tuburile de emisie și redresoare de înaltă tensiune:

Prima cifră

T — triodă
Q — tetrodă
QQ — dublă tetrodă
P — pentodă
D — diodă redresoare de înaltă frecvență

A doua literă

A — catod de wolfram
B — catod de wolfram thoriat
cC — catod de oxizi
E — catod încălzit indirect

A treia literă

A — anod răcit cu apă
L anod răcit cu aer
H — anod cu spirală de răcire cu apă
G — Tub cu vapori de mercur
X — tub cu gaze inerte

Cifrele dinaintea liniei indică tensiunea anodică la tuburile de emisie sau tensiunea redresată la tuburile redresoare indicată în kV . Următorul grup de cifre indică puterea de ieșire în Watti sau kW

Cîteva exemple de tuburi de emisie

TB 4/250 triodă de emisie cu catid de wolfram thoriat 4 kV tensiune anodică și 250 W putere de ieșire.

QQE 06/40 dublă tetrodă cu încălzire indirectă $U_a = 0{,}6$ kV $P_a = 40$ W
TB 4/1250 triodă cu catod de wolfram thoriat $U_a = 4$ kV $P_a = 1250$ W

Test

1. Care este simbolul folosit pentru tuburile cu încălzire indirectă?
2. Ce tub electronic are afară de anod și catod grilă de comanda, grilă ecran și grilă supresoare?
   a) triodă b) tetrodă c) pentodă d) dublă triodă
3. Care dintre caracteristicile de ieșire din fig. 17.11. corespund unei pentode?
4. Care dintre caracteristicile din fig. 17.11 corespund unei triode?

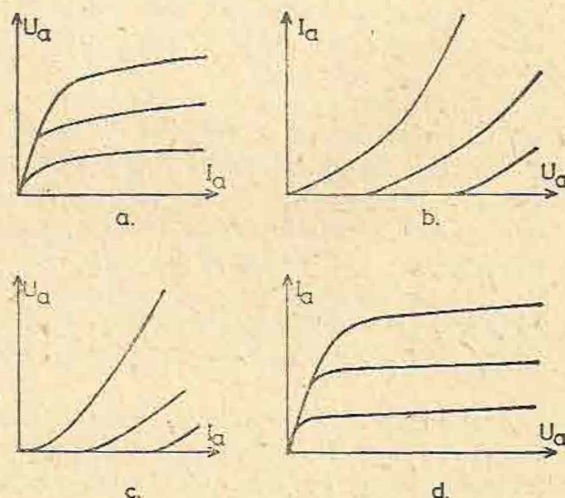


Fig. 17.11.

5. Care sînt parametrii cei mai importanţi ai tuburilor electronice şi care este relaţia matematică de interdependenţă?

6. La ce se folosea o triodă hexodă?

7. Care sînt avantajele şi dezavantajele tuburilor, tranzistoarelor şi TEC urilor?

8. Ce semnifică următoarele indicative?

a) EF 80 *b*) PY 88 *c*) ECL 85 *d*) QB 3/200

Răspunsuri

1. Fig. 17.1 *b*; 2. *c*; 3. *d*; 4. *b*

5. Parametrii mai importanţi ai tuburilor sînt: panta S, factorul de amplificare μ, şi rezistenţa internă R_i. Între aceşti parametri există relaţia $\mu = SR_i$.

6. Trioda se folosea în oscilatorul local iar hexoda pentru mixarea a două frecvenţe.

7. Tuburile au avantajul că pot lucra cu semnale de intrare mai mari decît tranzistoarele sau TEC. Dezavantajele sînt durata de viaţă mai scurtă şi consumul mare de energie.

Tranzistoarele au o amplificare mai mare decît tuburile şi TEC.

TEC au un factor de zgomot mai mic şi sînt destinate etajelor de intrare al radioreceptoarelor de mare sensibilitate.

8. *a*) Pentodă, 6,3 V la, filament soclu miniatură

b) Diodă redresoare cu alimentarea filamentului în serie 0,3 A cu soclu noval

c) Triodă pentodă finală, 6,3 V încălzire, soclu noval

d) Tetrodă de emisie $U_a = 3$ kV; $P_d = 200$ W

Capitolul 18

Radiocomunicația

Începînd cu acest capitol vom prezenta principiile de bază ale radiotehnicii. Ne vom ocupa de modulație și de emisie, apoi de detecție și de radiorecepție. Pentru început se vor explica schemele bloc după care vom trece la scheme particulare.

Se înțelege că aceste capitole se adresează celor care și-au însușit cel puțin materialul prezentat în prima parte a acestei cărți.

18.1. Generalități.

De foarte multă vreme omul a fost nevoit să transmită informații la distanțe mai mari decît cele accesibile în cazul vorbirii. Transmisiile la distanță cu ajutorul focurilor realizau comunicarea unei cantități de informați, foarte reduse, de forma „da" sau „nu". Astfel s-a aflat în Peloponez despre căderea Troiei și mai tîrziu la Roma despre căderea Ierusalimului asediat de Vespasian. Sute și sute de ani n-au apărut alte mijloace de comunicație.

Abia în timpul Revoluției franceze Claude Chapée născocește un „alfabet aerian" cu ajutorul căruia se puteau transmite informații ce puteau fi numite încă de pe atunci telegrame. Ele erau formate din cuvinte clare transmise literă cu literă, formate din drugi manevrați precum marionetele și care erau citite la mari distanțe prin lunete. Știri importante se puteau transmite în cîteva minute pe distanțe de sute de kilometri, dar secretul transmisiei nu era asigurat.

Primul care a avut ideea de a folosi curentul electric în telegrafie a fost medicul Sommering care utiliza efectul electrochimic, apoi Gauss și Weber au construit la Gottingen în 1833 un telegraf bazat pe efectul magnetic al curentului electric.

Pictorul american Samuel Morse a avut ideea care să folosească un electromagnet acționa un ac ce scria o linie, un punct sau lăsa o pauză. Pe baza acestei invenții a apărut în 1843 primul serviciu telegrafic pe fir între Washington și Baltimore. Invenția s-a răspîndit în lumea întreagă și nu mai rămînea decît să se suprime firul metalic pentru ca telegrafia să atingă desăvîrșirea.

În anul 1870 fizicianul englez J.C. Maxwell (1831—1879) demonstrează matematic existența undelor electromagnetice și posibilitatea acestora de a se propaga cu viteza luminii (300 000 km/s.) Zece ani mai tîrziu fizicianul

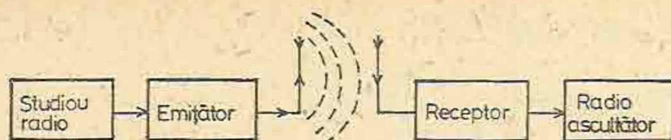


Fig. 18.1. Schemă simplificată a unei radiocomunicații

german Heinrich Hertz (1857—1894) demonstrează experimental posibilitatea generării undelor electromagnetice, a recepției la distanță a acestora și mai ales faptul că se propagă asemănător undelor luminoase. În cinstea lui undele electromagnetice au primit numele de unde hertziene, iar unitatea de măsură a frecvenței este Hertz-ul (Hz).

După descoperirea lui Hertz mulți inventatori au căutat să folosească undele electromagnetice pentru transmiterea fără fir a semnalelor telegrafice. Dar cel care a reușit să transmită semnale electrice pe distanțe mai mari a fost italianul Guglielmo Marconi (1874—1937). Marconi a observat că semnalele electrice se propagă la distanțe mai mari dacă puterea emițătorului crește și dacă antena de emisie este mai înaltă. În decembrie 1901 el reușește să transmită un semnal telegrafic, S, peste Oceanul Atlantic. După 6 ani de muncă intensă Marconi reșește să transmită prima radiogramă care cuprindea 29 de cuvinte. Semnalele transmise au parcurs 3122 km, distanța dintre Glacebay (Canada) și Poldhor (Anglia). Radiotelegrafia, sau cum se numea pe atunci telegrafia fără fir, era deja o realitate.

Schema simplificată a unei transmisiuni radio este prezentată în fig. 18.1. Între sursa de informație, vocea umană, de exemplu, și radioascultător se constituie așa-numitul lanț de transmisiune. Informația din domeniul audio (300—3000 Hz pentru vocea umană) trebuie transmisă în spațiu cu ajutorul semnalelor electromagnetice de frecvență înaltă. Aceasta se întîmplă în emițătorul de radio. Deci oscilațiile acustice sînt transformate în oscilații electrice cu ajutorul unui microfon, iar acestea trebuie transpuse în domeniul frecvențelor înalte, care pot străbate mari distanțe. Aceasta se realizează cu ajutorul modulației. La celălalt capăt al lanțului de transmisie se află radioreceptorul care, prin demodulare, readuce oscilațiile de înaltă frecvență în domeniul frecvențelor audio care se pot asculta în difuzor.

Procedeul prin care oscilațiile acustice, purtătoare de informație, se suprapun peste un semnal de frecvență înaltă (purtătoare) este numit modulație.

În radioreceptor oscilațiile audio sînt separate de purtătoarea de înaltă frecvență prin procesul invers de demodulare.

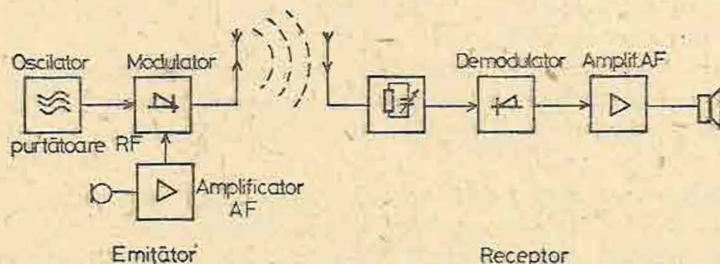


Fig. 18.2. Lanțul de transmisiune „studiou-ascultător"

18.2. Radioamatorii și radiocomunicațiile

Radioamatorii transmit informații prin diferite procedee. Cel mai vechi procedeu de modulație a fost telegrafia în codul Morse. Cu ajutorul acestui cod se puteau transmite litere, cifre, și chiar semne. Cu timpul au apărut și alte coduri, alte moduri de transmisiune, dar telegrafia în codul Morse păstrează și astăzi un loc important în radiocomunicații, deoarece este un procedeu simplu și sigur. Bazîndu-se pe acest cod la care se adaugă un cod de prescurtări, codul Q, transmisiunile radioamatorilor sînt destul de sigure și cu o bună inteligibilitate chiar în condiții de propagare defavorabile. Dezavantajul acestui mod de comunicație este necesitatea unui antrenament de lungă durată pînă la învățarea codurilor atît la emisie cît și la recepție. Există desigur și posibilitatea descifrării automate, dar astfel de instalații sînt mai greu accesibile radioamatorilor.

Alături de radiotelegrafie radioamatorii mai comunică și în fonie. De data aceasta informația analogică (vorbirea) cere ca emițătorul să fie mai complicat, la celelalte etaje adăugîndu-se un modulator. În afară de aceasta lățimea de bandă ocupată de o transmisiune radio în fonie este mai mare, raportul semnal/zgomot este mai mic și chiar distanța de transmisie este mai mică.

De aceea cele mai prețuite și mai căutate DX-uri (legături la mare distanță) se fac mai ales în telegrafie.

Alte domenii ale radiotehnicii sînt: serviciile radiotelegrafice, transmisiile de facsimile, televiziunea și telecomanda. Prin serviciile radiotelegrafice RTTY (radio teletype) se transmit cu ajutorul unor coduri internaționale precum Baudot, ASCII, etc litere cifre, care sînt citite pe un teleimprimator sau pe ecranul unui televizor.

În transmisiunile de facsimile, (SSTV-Slow Scanning TV), imaginile sînt descompuse pe linii și transmise analogic în trepte de gri sau digital, în semnale „alb sau negru". Asemănător se întîmplă și în televiziune. Imaginea captată optic este transpusă în semnale electrice care conțin informațiile de luminanță și culoare (semnale video). Semnalul video analogic este transpus în domeniul frecvențelor radio și emis în eter.

Prin telecomandă un semnal poate acționa la locul de recepție de exemplu un releu. Dar telecomanda prin radio nu intră printre domeniile de preocupări ale radioamatorilor.

18.3. Tipuri de modulație

Un semnal sinusoidal de înaltă frecvență se poate exprima matematic prin următoarea expresie

$$u = U \sin\ (\omega t + \varphi)$$

În relația de mai sus u este valoarea instantanee a tensiunii alternative în funcție de timpul t, U este amplitudinea acestei tensiuni, $\omega = 2\pi f$ frecvența unghiulară, iar φ faza oscilațiilor.

Prin procesul de modulaţie se pot influenţa cei trei parametri ai acestei oscilaţii exprimate în funcţie de timp. Dacă amplitudinea U variază în ritmul semnalului modulator, în timp ce frecvenţa şi faza rămîn neschimbate, se obţine *modulaţia de amplitudine* (MA).

Dacă în ritmul semnalului modulator variază frecvenţa $\omega = 2\pi f$, în timp ce amplitudinea U şi faza φ rămîn neschimbate se obţine *modulaţie de frecvenţă* (MF). În sfîrşit dacă faza φ variază în ritmul semnalului modulator se obţine *modulaţia de fază* (MP). Modulaţia de fază este foarte asemănătoare cu modulaţia de frecvenţă, deoarece dacă se schimbă faza rezultatul este asemănător cazului în care ar fi variat frecvenţa în limite mai strînse. De aceea modulaţia de frecvenţă şi de fază se grupează sub denumirea de modulaţie unghiulară. În cele ce urmează vom face prezentarea diferenţiată a modulaţiei de amplitudine MA şi modulaţiei de frecvenţă MF.

Pe ecranul unui osciloscop semnalul modulator, semnalul purtător de înaltă frecvenţă şi semnalul complex modulat în amplitudine sau în frecvenţă arată ca în figura 18.3.

În fig. 18.3 *a* este reprezentat semnalul de joasă frecventă modulator. Semnalul de înaltă frecvenţă, purtătoarea are o amplitudine care variază identic cu semnalul de joasă frecvenţă. Alternanţei pozitive îi corespund amplitudini mai mari ale purtătoarei modulate, iar alternanţei negative amplitudinile mai mici. Tensiunii modulatoare nule îi corespunde amplitudinea medie a purtătoarei.

În cazul modulaţiei de frecvenţă amplitudinea rămîne aceeaşi şi se schimbă numai frecvenţa purtătoarei. Altfel spus, variază numărul de oscilaţii pe unitatea de timp. Pe timpul alternanţei pozitive a semnalului de JF, frecvenţa este mai mare, iar alternanţei negative îi corespunde o scădere a frecvenţei. Cînd tensiunea modulatoare este nulă, frecvenţa purtătoarei este neschimbată.

Procedeele descrise sînt analogice, în sensul că tensiunea semnalului modulat urmăreşte întocmai variaţiile semnalului de JF, toate valorile inter-

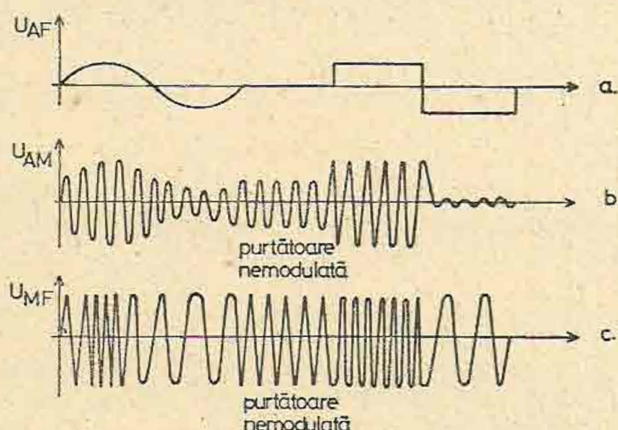


Fig. 18.3. Semnale: *a)* audio; *b)* modulat în amplitudine; *c)* modulat în frecvenţă

mediare între un maxim și un minim. În cazul unei transmisii digitale, ca de exemplu telegrafia, semnalul modulat urmărește numai două valori, 0 și 1, semnal mare și semnal mic, etc. În modulație de amplitudine (MA) avem amplitudine mare respectiv mică sau nulă. Iar în MF frecvență mare—frecvență mică. În astfel de transmisiuni nu există valori intermediare.

În afara acestor tipuri de modulație mai există și modulația în impulsuri care nu se folosește deocamdată în comunicațiile dintre radioamatori. Un semnal analogic de JF, mesajul, este eșantionat într-o serie de impulsuri (fig. 18.4) Dacă amplitudinea impulsurilor urmărește variația mesajului se realizează modulația de impulsuri în amplitudine. Dacă durata impulsurilor variază proporțional cu variația mesajului se realizează modulația de impulsuri în durată.

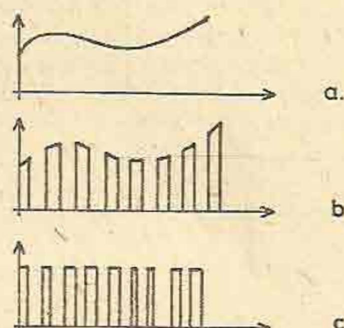
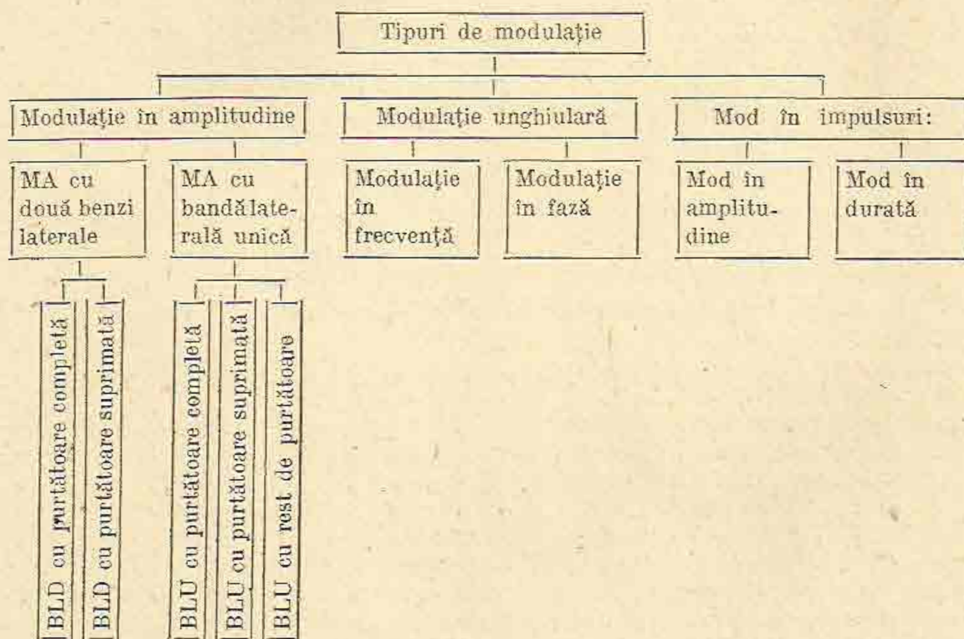


Fig. 18.4. Modulația în impulsuri: *a)* semnal audio; *b)* impulsuri modulate în amplitudine; *c)* impulsuri modulate în durată

Pentru o mai bună înțelegere a tipurilor de modulație dăm mai jos un tabel sinoptic



18.3.1. Modulația în amplitudine

Din punct de vedere tehnic modulația se explică în felul următor. Dacă două semnale de frecvențe diferite se aplică la intrarea unui dispozitiv electronic neliniar.

Apar două fenomene distincte: translația și mixarea:

Dată fiind dificultatea înțelegerii demonstrației matematice a desfășurării proceselor de modulație vom încerca o explicație intuitivă recurgînd la diagrame și la cîteva relații matematice.

Să ne amintim de primele capitole despre tensiuni, curenți și rezistențe. Dacă înscriem două tensiuni și le aplicăm pe un element liniar cu un rezistor, tensiunea la bornele sale este suma tensiunilor. Aceasta nu este modulație de amplitudine ci doar rezultatul unei însumări de tensiuni.

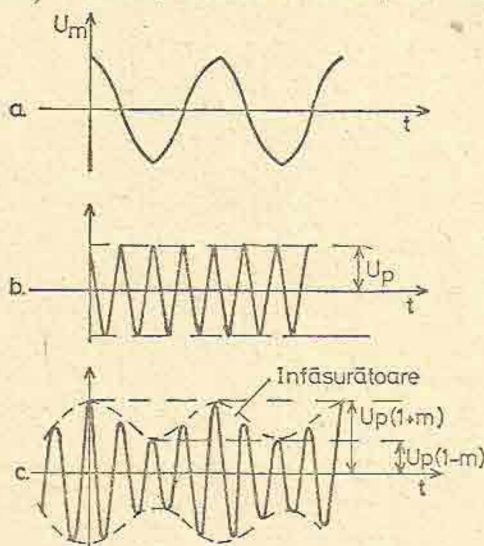


Fig. 18.5. Procesul de modulație în amplitudine: *a)* semnal audio; *b)* semnal purtător; *c)* semnal modulat

Altfel se prezintă lucrurile dacă două tensiuni alternative de frecvențe diferite se aplică pe un element neliniar. Semnalul de radiofrecvență, deci cu frecvența mai mare de 100 kHz, se scrie matematic astfel

$$u_p = U_p \cos \omega_p t$$

unde U_p este amplitudinea maximă a oscilației, $\omega_p = 2\pi f_p$ este pulsația și f_p frecvența purtătoare.

Semnalul de radiofrecvență u_p este modulat cu un semnal de audiofrecvență, cu o frecvență mult mai scăzută, numit semnal modulator

$$u_m = U_m \cos \omega_m t$$

Cele două semnale se aplică la intrarea unui dispozitiv electronic neliniar care poate fi asemănat cu un amplificator comandat în amplitudine.

La ieșirea acestuia va apare un semnal a cărui amplitudine variază în ritmul oscilației modulatoare

$$u = U_p(1 + \mathrm{m} \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

unde m este numit gradul de modulație și va fi definit ulterior. Acum trebuie să știm că m variază între 0 și 1. În acest fel valorile extreme ale amplitudinii semnalului modulat sînt $U_p(1 + m)$ și $U_p(1 - \mathrm{m})$.

Amplitudinea tensiunii de radiofrecvență va urmări curba de variație din fig. 18.5 *b*. Deci în esență se transmite o purtătoare de înaltă frecvență a cărui amplitudine variază în ritmul semnalului modulator. Sinusoida de radiofrecvență este tangentă la curba punctată care reprezintă amplitudinea. Aceasta este anvelopa sau înfășurătoarea de modulație. Pe ecranul unui osciloscop oscilația modulată se vede chiar sub acest aspect (fig. 18.5).

Expresia matematică a oscilației modulate în amplitudine se mai poate scrie

$$u = U_p \cos \omega_p t + U_p \cos \omega_m t \cos \omega_p t$$

și se poate considera ca suma a două oscilații, o oscilație de emplitudine constantă U_p și frecvență f_p (purtătoarea) și o altă oscilație de aceeași frecvență f_p a cărei amplitudine este variabilă în timp odată cu $m \cos \omega_m t$. Aceasta din urmă se numește produs de modulație.

Cu ajutorul expresiei produsului de modulaţie se poate explica apariţia unor noi frecvenţe inexistente iniţial. Transformînd trigonometric expresia produsului de modulaţie semnalul modulat în amplitudine va avea forma

$$u = U_p \cos \omega_p t + \frac{mU_p}{2} \cos (\omega_p + \omega_m) + \frac{mU_p}{2} \cos (\omega_p - \omega_m)$$

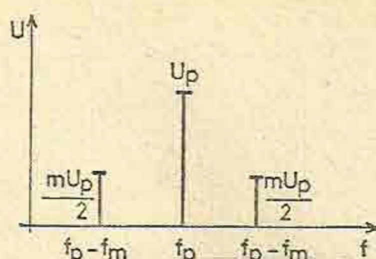


Fig. 18.6. Spectrul de frecvenţe al unui semnal modulat în amplitudine

Această expresie arată că oscilaţia modulată în amplitudine are trei componente de amplitudini constante dar cu următorul spectru de frecvenţe: f_p, $f_p - f_m$ şi $f_p + f_m$. Altfel spus, prima este frecvenţa purtătoare iar suma şi diferenţa componentele laterale, inferioară şi superioară. Cum semnalul audio modulator nu este singular, ci o bandă de frecvenţe, vor apare deci două benzi laterale.

Trecînd mai departe vom deosebi următoarele tipuri de modulaţii în amplitudine:

MA cu purtătoare şi bandă laterală dublă

MA cu purtătoare redusă şi bandă laterală dublă

MA cu purtătoare suprimată şi bandă laterală unică. De aceste tipuri de modulaţie ne vom ocupa în următoarele paragrafe.

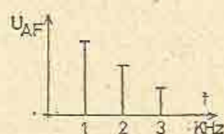
18.3.2. Modulaţia în amplitudine cu bandă laterală dublă

Am văzut că în urma modulaţiei în amplitudine apar trei oscilaţii avînd frecvenţele egale cu purtătoarea şi suma şi diferenţa dintre frecvenţa purtătoare şi modulatoare.

În fig. 18.6. este reprezentat spectrul unui semnal modulat în amplitudine. S-a considerat că semnalul modulator are o frecvenţă unică f_1, dar în cazul unei transmisiuni radiotelefonice semnalul de audiofrecvenţă este format dintr-un amestec de frecvenţe.

Vocea umană are un spectru de frecvenţe între 300Hz şi 3000 Hz. Să presupunem că modulăm purtătoarea de 1 MHz cu 1 kHz, 2 kHz şi 3 kHz. din întreagă bandă vocală. Rezultă spectrul din fig. 18.7

Deosebim deci banda laterală inferioară (lower sideband — LSB) şi banda laterală superioară (upper sideband) — USB). Acest gen de modulaţie se numeşte radiofonie cu bandă laterală dublă care este codificată A 3 E.



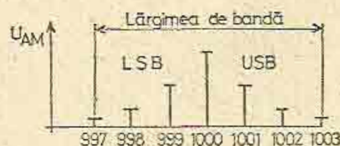


Fig. 18.7. Spectrul de frecvenţe: *a)* semnal modulator; *b)* semnal modulat

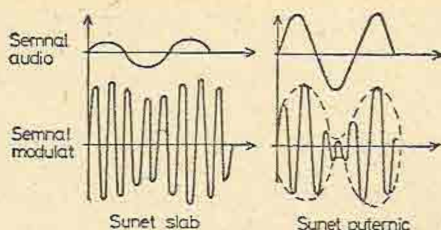


Fig. 18.8. Influența amplitudinii sunetului modulator

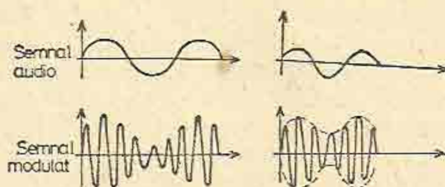


Fig. 18.9. Influența frecvenței sunetului modulator

Din figura 18.7 se poate calcula că banda necesară în A 3 este dublul frecvenței audio cele mai înalte de transmis. Deci banda necesară

$$B_{A3} = 2f_{AF\ max}$$

În exemplul dat banda de transmisiune se întinde de la 997 la 1003 kHz deci banda necesară este 6 kHz.

Problemă. Filtrul de frecvență intermediară al unui radioreceptor are o lățime de bandă de $B = 9$kHz. Care este frecvența audio maximă care poate trece prin acest filtru?

$$f_{AF} = \frac{B}{2} = \frac{9\ \text{kHz}}{2} = 4{,}5\ \text{kHz}$$

Pentru caracterizarea modulației în amplitudine se folosește noțiunea numită *grad de modulație*.

Un sunet mai tare modifică mai mult amplitudinea undei modulate decît un sunet mai slab. De asemeni un sunet mai înalt modifică amplitudinea mai des decît un sunet mai grav.

Gradul de modulație m este raportul dintre variația maximă a amplitudinii purtătoarei modulate și valoarea acesteia în lipsa modulației. Se măsoară în procente după relația

$$m = \frac{U}{U_p} = \frac{U_M - U_m}{2U_p} = \frac{U_M - U_m}{U_M + U_m}$$

unde U_M este amplitudinea maximă a semnalului modulat;

U_m — amplitudinea minimă a semnalului modulat;

U_p — amplitudinea purtătoarei nemodulate.

Pentru semnalul din fig. 18.10 *a* gradul de modulație este $m = 0{,}5$ iar pentru cel din fig. 18.10 *b* $m = 1$.

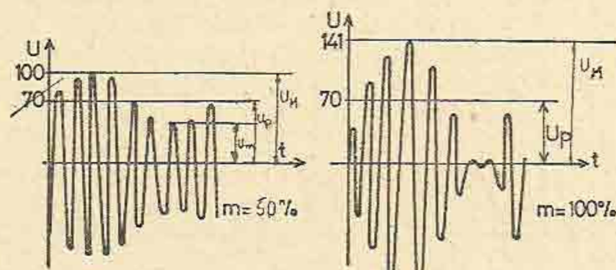


Fig. 18.10. Variația gradului de modulație

Dacă $m = 1$ amplitudinea maximă de radiofrecvență, $U_p\,(1 + m)$ poate atinge dublul purtătoarei nemodulate. Acesta este vîrful de modulație. Amplitudinea minimă este 0 și se numește profunzime de modulație.

Deoarece puterea este proporțională cu pătratul tensiunii, la vîrf de modulație puterea emițătorului ajunge de patru ori puterea de la purtătoare. De aceea etejele finale ale emițătoarelor MA trebuie să suporte această suprasolicitare. În caz contrar, la grade mari de modulație apar distorsiuni, „blocări" și suprasaturații.

Practic modulația de amplitudine se realizează prin modificarea tensiunii de alimentare al unui electrod al unui tub final RF sau al unui tranzistor în ritmul semnalului modulator. Tensiunea de radiofrecvență la ieșirea amplificatorului final își modifică atitudinea în ritmul semnalului modulator.

Vom descrie un procedeu dintre cele mai uzitate: *modulația* pe colector.

În figura 18.11 semnalul RF este amplificat de tranzistor. Tensiunea de audiofrecvență modifică în ritmul său, tensiunea de alimentare a colectorului. În acest fel amplitudinea semnalului de RF urmărește legea de variație a semnalului modulator. Acest procedeu este utilizat în montaje cu tuburi electronice și prezintă distorsiuni reduse, putere și randament ridicat.

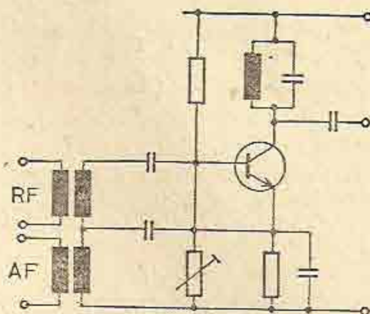


Fig. 18.11. Modulator AM

18.3.3. Modulația telegrafică cu bandă laterală dublă

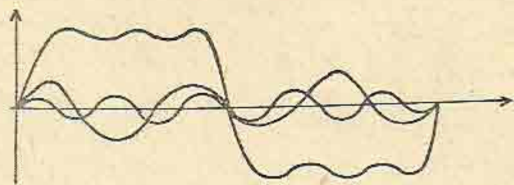
Se știe că un semnal telegrafic transmis în cod Morse este format dintr-o succesiune de impulsuri dreptunghiulare. Acestea pot fi considerate alternanțele unei tensiuni rectangulare. Un astfel de semnal se poate descompune și se constată că în afara oscilației fundamentale mai există și oscilații armonice (fig. 18.12).

Un semnal rectangular se descompune în serie Fourier după cum urmează:

$$f(t) = \frac{4U}{2\pi}\left(\sin \omega t - \frac{1}{3}\sin 3\,\omega t - \frac{1}{5}\sin 5\,\omega t - \ldots\right)$$

Aceasta înseamnă că un semnal rectangular se poate descompune într-o frecvență fundamentală $\omega = 2\pi f$ precum și armonica a treia (frecvență triplă) cu amplitudine de trei ori mai mică, armonica a cincea (frecvență de cinci ori mai mare) cu amplitudinea ce scade la o cincime ș.a.m.d. S-ar părea că un astfel de semnal se descompune într-o serie aproape nesfîrșită de semnale dintr-un spectru larg de frecvențe. Dar banda se limitează practic mult mai repede pînă la armonica a noua care are o amplitudine de nouă ori mai mică decît semnalul original.

În telegrafie Morse (A1A) banda ocupată depinde de viteza de transmisiune a semnalelor precum și de modul de manipulare.


Fig. 18.12. Prducerea unui semnal rectangular prin compunerea mai multor oscilații sinusoidale

După cum se vede în figura 18.13. cuvintele sînt formate din linii și puncte, semnele de durată mai lungă sau mai scurtă separate de pauze. Impulsurile lungi durează de trei ori mai mult decît cele scurte. Un ritm de transmisiune obișnuit atinge 75 de impulsuri pe minut care are o frecvență fundamentală de circa 5 Hz. Un ritm dublu care este aproape de limita maximă atinsă în traficul radioamatorilor, necesită o frecvență de 10 Hz. Dacă în astfel de transmisiuni se poate recepționa semnele cu amplitudinea de 10 ori mai mică decît semnalul original și frecvența de 10 ori mai mare, banda ocupată ajunge la 100 Hz, pentru o viteză de 150 de impulsuri elementare pe minut.

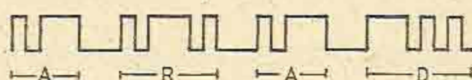


Fig. 18.13. Cuvîntul ARAD în cod Morse

Numărul de oscilații armonice depinde și de modul de manipulare mai „tare" sau mai „slab". Flancurile foarte abrupte ale unui impuls și supracreșterile duc la un conținut mai mare de armonici. În concluzie banda ocupată în A1A de radioamatori se apreciază la 100 — 200 Hz.

18.3.4. Modulația cu bandă laterală dublă și purtătoare suprimată

Deoarece purtătoarea nu conține nici o informație și prezintă un consum inutil de putere pentru a se face economie de energie, la emisie se suprimă purtătoarea și se emit numai benzile laterale. Economia atinge cam 2/3 din putere. La recepție se reface purtătoarea pentru ca demodularea să decurgă în mod normal.

Matematic semnalul transmis este de forma:

$$u = mU_p \cos \omega_m t \cos \omega_p t = \frac{mU_p}{2} \cos(\omega_p + \omega_m)t + \frac{mU_p}{2} \cos(\omega_p - \omega_m)t$$

În radiodifuziunea comercială nu se suprimă complet purtătoarea, ci se păstrează un rest care la recepție se filtrează și se amplifică separat. Un exemplu este frecvența pilot în transmisiunile stereofonice.

Cum se face suprimarea purtătoarei în practică? Se utilizează așa numitele modulatoare echilibrate. Acestea sînt scheme de mixaj cu diode tuburi, tranzistoare sau circuite integrate în punte echilibrată. La ieșire vom avea un semnal numai dacă echilibrul este deranjat de un semnal de audiofrecvență.

Un modulator echilibrat este format, de exemplu, din două transformatoare cu priză mediană și patru diode legate în inel astfel ca anodul uneia să fie urmat de catodul celeilalte fig. 18.14. Purtătoarea se aplică pe cele două prize mediane iar capetele înfășurărilor transformatoarelor se leagă la cele două diagonale ale punții.

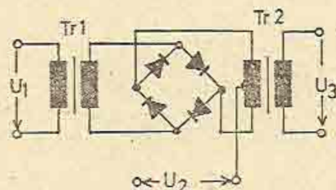


Fig. 18.14. Modulator echilibrat

Funcționare. În figura 18.15 este înfățișată diagrama de semnal. Intervalele pozitive ale purtătoarei au fost numerotate pentru o orientare mai ușoară — În punctul O semnalul de audiofrecvență este nul. Deoarece diodele sînt identice curentul alternativ de radiofrec-

frecvență se împarte în mod egal pe cele două jumătăți ale primarului transformatorului *Tr2* astfel că pe înfășurarea secundară nu apare nici o tensiune. În intervalul *1—10* pe transformatorul *Tr1* se aplică semiperioada pozitivă a semnalului de audiofrecvență. În intervalul *1* cînd tensiunea crește diodele *2* și *4* conduc, iar diodele *1* și *3* sînt blocate. Semiperioadele pozitive ale curentului de înaltă frecvență (intervalele *1, 3, 5*,...) produc partea pozitivă a tensiunii U_3 iar semiperioadele negative (intervalele *2, 4, 6*..) partea negativă a tensiunii U_3. În intervalele *11—20* tensiunea de audiofrecvență este negativă. Diodele *1* și *3* conduc iar *2* și *4* sînt blocate. Acum în intervalele pozitive ale semnalului de RF (intervalele *11, 13, 15*...) apare partea negativă a tensiunii de ieșire și invers în intervalele *12, 14, 16*, la trecerea dintre intervalul *10* și *11* are loc o schimbare de fază a semnalului de ieșire.

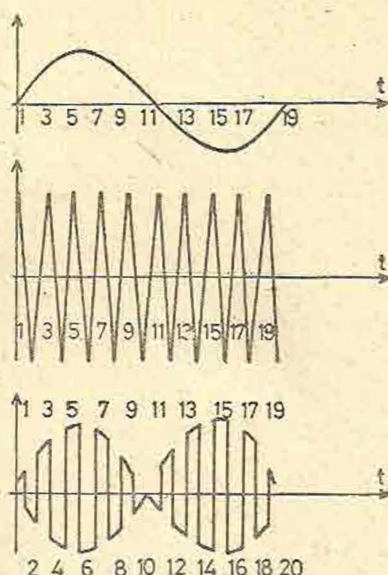


Fig. 18.15. Suprimarea purtătoarei — diagrama de semnal

În figura următoare 18.16 sînt date spre comparație formele semnalelor modulate în amplitudine cu bandă laterală dublă cu purtătoare și cu purtătoare suprimată. În timp ce la primul tip de modulație semnalul rezultat U_3 oscilează în jurul unei valori medii pentru cealaltă modulație această valoare este nulă. De asemenea la MA cu purtătoarea suprimată apare o opoziție pe fază a semnalului U_3 față de purtătoare a U_2, pe timpul semiperoiadei negative a semnalului modulator U_1.

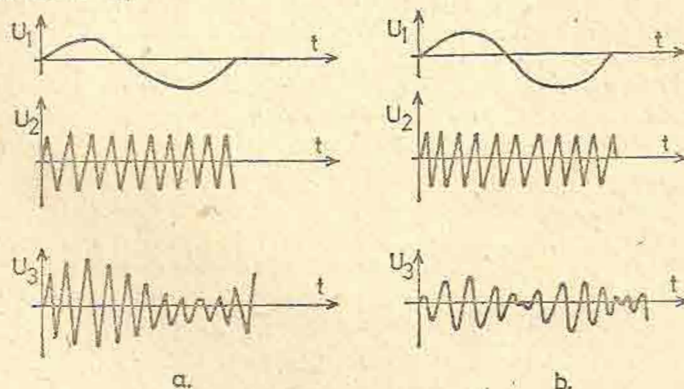


Fig. 18.16. Comparație între forma semnalului MA cu purtătoare *(a)* și cu purtătoare suprimată *(b)*

18.3.5. Modulația în amplitudine cu bandă laterală unică

În radiocomunicațiile MA cu bandă laterală dublă se ocupă o bandă de frecvențe prea largă mai ales cînd nu se urmărește decît transmisia de informație. De aceea, este posibil ca încă de la emisie să se suprime una din benzile laterale și să se emită numai banda inferioară (LSB) sau cea superioară

(BLS), deoarece în fiecare bandă este conținută aceeași informație. Suma sau diferența dintre purtătoare și frecvența audio este totuși înaltă frecvență care poate fi radiată prin antenă. La recepție se reface purtătoarea pentru demodulare. Acest tip de modulație este foarte folosit de radioamatori se numește SSB (single side band) cu purtătoare suprimată. (Se notează cu indicele J3E). Prin acest procedeu se face economie de putere la emisie existînd avantaje și la recepție (banda se îngustează, scade zgomotul.)

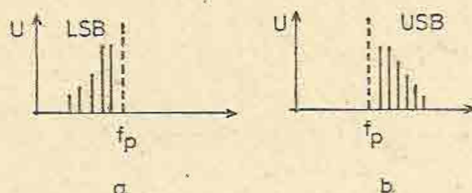


Fig. 18.17. Modulație cu bandă laterală unică: *a)* LSB; *b)* USB

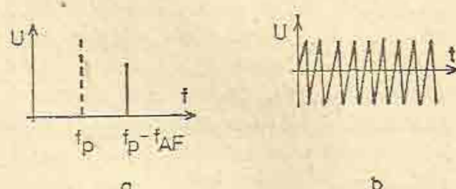


Fig. 18.18. Semnal modulat cu un singur ton; *a)* diagrama spectrului de frecvență; *b)* diagrama în funcție de timp

Dacă prin astfel de modulație se transmite numai un singur ton la emisie rezultă numai o singură frecvență nouă. Aceasta este rezultatul sumei dintre purtătoare și sunetul pur, iar banda laterală superioară nu se deosebește cu nimic ca aspect față de purtătoare, dar față de purtătoare este translatată exact cu frecvența audio purtătoare de informație ($f_p - f_{AF}$ dau $f_p - f_{AF}$).

Să presupunem că modulăm o purtătoare de 7 000 kHz cu un ton de 3 kHz. Semnalul din banda laterală superioară (USB) cu purtătoarea suprimată are frecvența 7 003 kHz.

Cum se obține practic un astfel de rezultat?

Oscilatorul de radiofrecvență generează purtătoarea. Aceasta se mixează cu un semnal audio într-un modulator echilibrat. Rezultă un semnal MA cu bandă laterală dublă DSB și purtătoare suprimată. Semnalul modulat se trece printr-un filtru trece sus care lasă să treacă numai banda laterală superioară care va fi radiată de antene de emisie, desigur după ce a fost amplificată. Există și alte metode de obținere a SSB (cum ar fi metoda forării) dar explicația depășește cadrul acestei cărți.

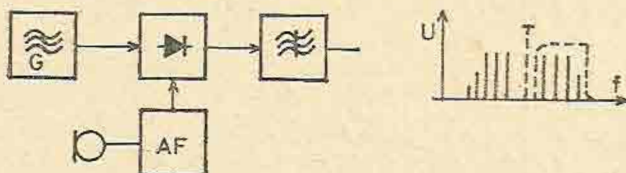


Fig. 18.19. Realizarea modulației SSB prin metoda filtrării

18.4. Modulația în frecvență

În domeniul undelor ultrascurte (UUS) mai ales în radiocomunicațiile mobile și cele de interes local se utilizează modulația în frecvență. După cum am mai arătat parametrul asupra căruia să intervină prin modulație este frecvența purtătoarei care variază în ritmul semnalului audio modulator.

Deoarece amplitudinea rămîne constantă la recepție se mai poate face o limitare în amplitudine a semnalului recepționat, ceea ce duce la eliminarea perturbațiilor sub formă de impulsuri. În plus, puterea semnalului audio nedepinzînd de intensitatea cîmpului la recepție, acest tip de modulație se pretează foarte bine la radiocomunicații mobile.

Ca în orice comunicație radio trebuie transmisă două informații: o informație despre amplitudine (tăria semnalului) și o informație despre frecvență (înălțimea semnalului).

La modulația în frecvență se intervine numai asupra frecvenței purtătoare care variază într-o plajă $\pm\Delta f$ în jurul frecvenței centrale (fig. 18.20).

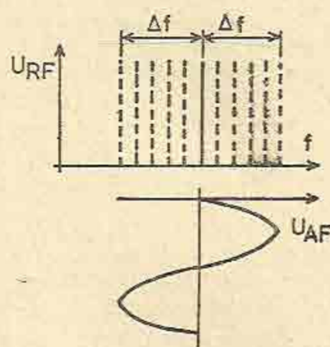


Fig. 18.20 Variația deviației de frecvență în funcție de amplitudinea semnalului audio modulator

Această deviație de frecvență va fi mai mare sau mai mică după cum amplitudinea semnalului audio este mai mare sau mai mică. Deci un sunet mai puternic provoacă o deviație de frecvență mai mare decît un sunet mai slab (fig. 18.21)

Dar informația de înălțime a sunetului (frecvența audio) nu mai este dată de mărimea deviației în jurul frecvenței purtătoare. Înălțimea sunetului determină numărul de „excursii" în jurul frecvenței purtătoare centrale. Aceasta înseamnă că dacă transmitem două sunete de aceeași amplitudine dar cu înălțimi diferite deviația de frecvență rămîne acceeași, dar numărul de variații în jurul frecvenței purtătoare va fi diferit. Deci pentru un semnal grav vom avea mai puține deviații în jurul lui f_p decît pentru un semnal mai înalt.

O radiocomunicație cu modulație în frecvență este caracterizată de deviația de frecvență maximă Δf, care este abaterea maximă față de frecvența purtătoare numită și frecvența centrală.

$$f = f_p - f_{min} = f_{max} - f_p = \frac{f_{max} - f_{min}}{2}$$

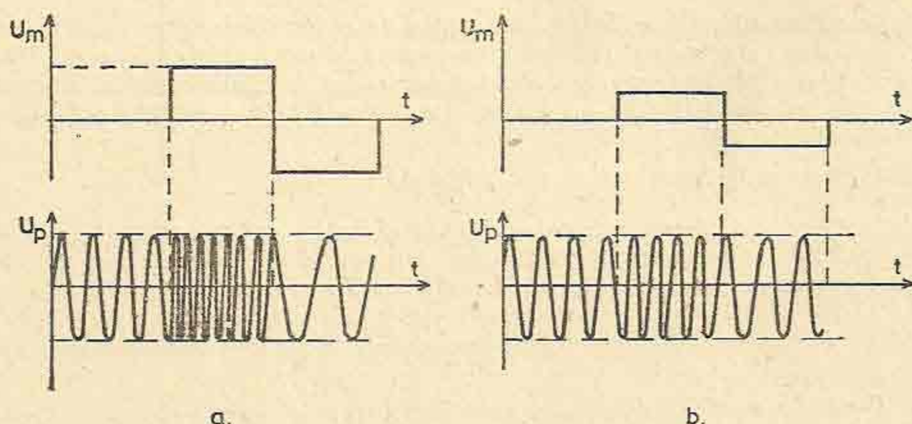


Fig. 18.22. Variația frecvenței instantanee — a oscilațiilor MF în funcție de frecvența semnalului modulator: *a)* frecvență modulatoare mică; *b)* frecvență modulatoare mare

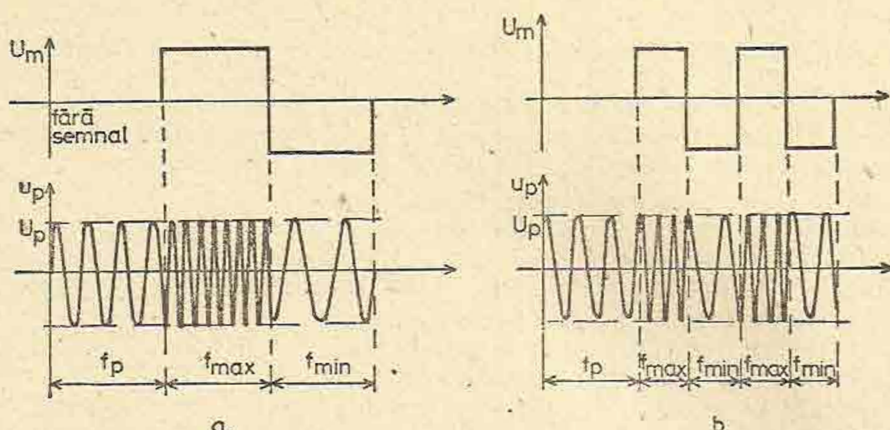


Fig. 18.21 Variația frecvenței instantanee a oscilațiilor MF în funcție de amplitudinea semnalului modulator; *a)* amplitudine modulatoare mare, *b)* amplitudine modulatoare mică

Pentru radiodifuziune sonoră $\Delta f = 75$ kHz iar în radiocomunicațiile radioamatorilor doar 6 kHz.

Un alt parametru ce caracterizează modulația este indicele de modulație β care este raportul dintre deviația de frecvență și frecvența modulatoare maximă:

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_{AF}}$$

În radiodifuziune $f_{AF} = 15$ kHz și $\Delta f = 75$ kHz

$$\beta = \frac{75 \text{ kHz}}{15 \text{ kHz}} = 5$$

iar în traficul radioamatorilor $f_{AF} = 3$ kHz $\Delta f = 6$ kHz

$$\beta = \frac{6 \text{ kHz}}{3 \text{ kHz}} = 2$$

În difuzorul unui radioreceptor stația de radiodifuziune se va auzi mai puternic decît stația unui radioamator tocmai datorită acestei diferențe între indicii de modulație respectivi. Pentru un indice de modulație mic, lărgimea de bandă se poate calcula cu formula aproximativă $b_{FM} = 2(\Delta f + f_{AF\,max})$.

18.4.1. Metoda de realizare a modulației de frecvență

Modulația de frecvență se realizează chiar în oscilatorul care produce semnalul de radiofrecvență, purtătoare. Un oscilator LC generează semnale sinusoidale cu frecvența dată de formula lui Thompson:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Pentru a modifica frecvența purtătoare trebuie variate elementele reactive L sau C ale circuitului oscilant după legea impusă de semnalul modulator.

Aceasta se realizează cu montaje echipate cu tub sau tranzistor de reactanță sau cu diode varicap.

În momentul de față cel mai răspîndit modulator este cel cu diodă varicap.

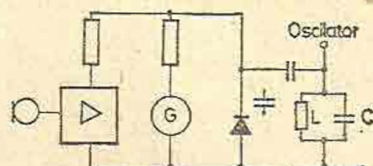


Fig. 18.23.

În fig. 18.23 dioda cu capacitate variabilă este în paralel cu circuitul acordat LC. Dioda este menținută în stare de blocare permanentă datorită tensiunii continue de la sursa de alimentare. Semnalul modulator modifică tensiunea inversă și odată cu ea capacitatea de barieră. Aceasta are drept urmare o variație a frecvenței.

* * *

Să recapitulăm în încheiere. Un semnal modulat are expresia

$$u = U \sin(\Omega t + \varphi)$$

unde Ω este frecvența unghiulară și φ este faza. Dacă variază U avem *modulație de amplitudine*, dacă variază Ω avem *modulație de frecvență*, iar dacă variază φ avem *modulație de fază*

TEST

1. Calculați lățimea de bandă a unui emițător AM cu dublă bandă laterală care emite pe 7,1 MHz și este modulat cu 200 Hz, 1 kHz și 2 kHz.
2. Calculați lățimea de bandă a unui emițător modulat în frecvență a cărei frecvență maximă de modulație este 3 kHz iar indicele de modulație este 1.
3. Desenați schema unui modulator echilibrat.
4. Ce se înțelege prin deviația de frecvență a unui emițător. MF.
5. Cum se realizează în principiu modulația în frecvență?

Răspunsuri

1. 4 kHz
2. $b = 2(\Delta f + f_{AF\,max}) = 2(3\text{kHz} + 3\text{kHz} = 12\text{kHz}$.
3. Fig. 18.14
4. Deviația de frecvență este excursia maximă a frecvenței instantanee a emițătorului față de frecvența centrală.
5. Vezi schema bloc fig. 18.23

Capitolul 19

Emițătoare. Scheme bloc

În cele ce urmează vom prezenta schemele bloc principale ale radioemițătoarelor.

Să ne amintim că principalele tipuri de modulație sînt modulația în amplitudine MA, și modulația în frecvență MF. În MA semnalul de audiofrecvență purtător de informație modifică amplitudinea semnalului de radiofrecvență. În MF semnalul purtător de informație modifică frecvența semnalului de radiofrecvență, amplitudinea acestuia rămînînd constantă. Mai reținem că modulația în amplitudine poate fi cu sau fără purtătoare precum și cu două benzi laterale, cu rest de bandă laterală sau cu bandă laterală unică.

19.1. Emițătoare cu multiplicare de frecvență

În principiu un astfel de emițător este format dintr-un oscilator care generează frecvența purtătoare, urmat de un etaj separator buffer care împiedică acțiunea etajelor următoare asupra frecvenței oscilatorului în timpul operațiilor de acord. Pentru a se obține mai ușor o bună stabilitate a frecvenței purtătoare se alege o frecvență scăzută, urmînd ca prin multiplicare să se ajungă la frecvența de emisie alocată emițătorului. Benzile de frecvențe alocate radioamatorilor au fost astfel alese încît se poate realiza următoarea serie de numere

3 5 7 14 28
21

fiecare frecvență fiind dublul celei precedente. Deci se va genera, să spunem, 1,75 MHz și apoi prin dublare vom obține 3,5 MHz, banda 80 m; 7 MHz banda 40 m; 14 MHz, banda 20 m; 28 MHz, banda 10 m. Pentru frecvența de 21 MHz este nevoie de o triplare a frecvenței de 7 MHz.

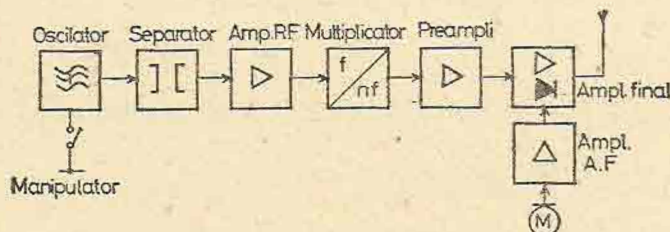


Fig. 19.1. Schema bloc a unui emițător US cu multiplicare de frecvență

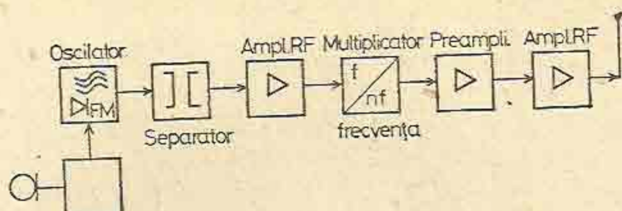


Fig. 19.2. Schema bloc a unui emițător UUS cu multiplicare de frecvență

După etajul multiplicator de multe ori numit în limbajul curent multiplexer, urmează un preamplificator și amplificatorul final care aduce semnalul la puterea dorită. Etajul final servește și ca modulator AM. Pentru lucrul în telegrafie A1A se conectează și deconectează oscilatorul cu un manipulator Morse.

Emițătoarele cu modulație în frecvență funcționează pe același principiu, cu deosebirea că modulația se introduce direct în oscilator. Aceasta deoarece după buffer nu mai putem influența frecvența purtătoarei decît prin multiplicare.

În banda de 144 MHz multiplicatorul poate funcționa după un plan de frecvențe care are ca bază unul din divizorii numărului 144, deci 4, 6 sau 8.

4—8—24—48—144
6—12—36—72—144
8—16—48—144

Frecvența oscilatorului se alege în așa fel încît oscilatorul să poată fi modulat cu o deviație de frecvență destul de mare. Să presupunem că frecvența oscilatorului este 6 MHz și vom devia frecvența lui cu 125 Hz. Deviația oscilatorului va fi și ea multiplicată odată cu purtătoarea, rezultă deci următoarele frecvențe:

6 000—125; 12 000—250; 36 000—750; 72 001—500; 144 00—3000. În final vom avea o deviație de frecvență de 3 kHz.

Trebuie amintit că deviația de frecvență este influențată de intensitatea tonului audio. Înălțimea sunetului nu este influențată de multiplicare. Înălțimea sunetului, deci frecvența sa, va da numărul de oscilații ale purtătoarei în jurul frecvenței centrale.

Exemplu:

Purtătoarea nemodulată a unui emițător MF are frecvența de 144 MHz. Un semnal modulator face ca frecvența să varieze între 143999 și 144,001 MHz de 500 de ori pe secundă. Deci se transmite un sunet cu frecvența de 500 Hz și o amplitudine oarecare. Dacă se va dubla amplitudinea semnalului audio, frecvența instantanee a purtătoarei va oscila între 143,998 și 144,002 MHz, tot de 500 de ori pe secundă

19.2. Principiul heterodinării

Multiplicarea de frecvență nu poate fi folosită în toate situațiile. În SSB ar fi multiplicate și benzile laterale astfel că intervalul de frecvență față de purtătoare ar crește și el. La recepție nu s-ar mai putea recunoaște semnalul original.

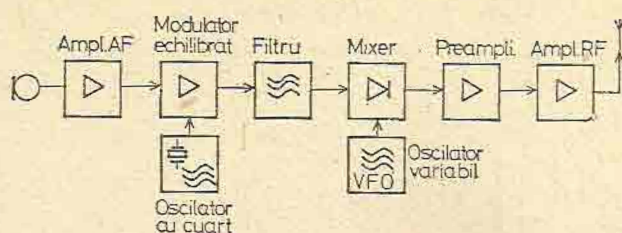


Fig. 19.3. Schema bloc a unui emițător SSB cu filtru

Exemplu. Un emițător SSB cu purtătoarea suprimată este modulat în banda laterală superioară cu $f_1=1$ kHz și $f_2=2$ kHz. Frecvența oscilatorului este 7 100 kHz. La ieșire vom avea frecvențele 7 101 kHz și 7 102 kHz. Dublăm frecvența semnalului și obținem purtătoarea 14 200 kHz (ce va fi suprimată) și frecvențele laterale 14 202 kHz și 14 204 kHz. La recepție vom obține două frecvențe laterale la un interval de 2 sau 4 kHz în loc de 1 kHz și 2 kHz.

Pentru a nu se modifica frecvența semnalului modulator, emițătoarele SSB folosesc heterodinarea.

Să examinăm schema bloc din fig. 19.3. Mai întîi amplificatorul de audiofrecvență, apoi oscilatorul cu cuart al purtătoarei care își mixează semnalele în modulatorul echilibrat pe care l-am descris în capitolul precedent. La ieșirea acestuia vom avea două benzi laterale purtătoarea fiind suprimată.

Cele două semnale sînt trecute prin filtrul de bandă care taie banda laterală inferioară. Totuși acest semnal nu poate fi transmis astfel în eter, deoarece frecvența oscilatorului cu cuarț nu se află printre cele din benzile alocate radioamatorilor, (de obicei este aleasă frecvența de 9 MHz). De aceea semnalul obținut de la ieșirea din filtru este mixat cu semnalul dat de un oscilator de frecvență variabilă. La ieșirea acestuia se obține întotdeauna suma și diferența celor două semnale, la fel ca la MA cu ambele benzi laterale.

DECI semnalul de 9 MHz trebuie mixat cu semnalul unui VFO cu frecvența variabilă între 5 și 5,5 MHz. Vom obține la ieșire semnalul sumă 14—14,5 MHz (banda de 20 m) și semnalul diferență 4—3,5 MHz (banda 80 m).

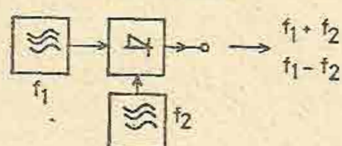


Fig. 19.4. Schema bloc a mixerului

Din păcate este greu să se construiască un oscilator care să lucreze în mai multe benzi de frecvențe și să aibă o bună stabilitate mai ales pe frecvențe înalte.

În urmă cu 10 ani s-au creat scheme de emițătoare cu simplă sau dublă heterodinare care rezolvau problema oscilatorului, dar aveau dezavantajul că la ieșire apăreau multe produse de modulație care deranjau serios traficul. Și desigur pentru un radioamator este dificil să aibă la dispoziție un analizor de spectru pentru a căuta armonicile și mai ales produsele de modulație care apar în antena emițătorului construit de el.

19.3. Sinteza frecvențelor

În ultima vreme au apărut dispozitive excitatoare care generează o adevărată rețea de frecvențe foarte stabile la un interval de 1 kHz sau chiar 100 Hz. Frecvența unui singur oscilator pilot se prelucrează prin multiplicări și divizări multiple, însumări algebrice etc. Aceste excitatoare se numesc sintetizoare de frecvență.

Sintetizorul de frecvență pe care îl prezentăm produce semnale sinusoidale cu un conținut redus de componente parazite și se bazează pe însumarea algebrică a două frecvențe prin m e t o d a c o n t r o l u l u i a u t o m a t d e f a z ă.

Dar mai întîi să prezentăm procedeul controlului automat de fază. Circuitele care realizează această funcție sînt circuitele PLL. Aceste litere sînt inițialele cuvintelor „Phase Locked Loop" care se traduc prin „buclă cu calare pe fază". În literatura de specialitate s-a răspîndit denumirea de circuit sau buclă PLL. Un astfel de circuit este compus din: comparator de fază — CP; oscilator controlat în tensiune — OCT; filtru trece jos — FTJ. La intrarea comparatorului de fază se aplică semnalul de intrare f_i și semnalul f_0 provenit de la ieșirea oscilatorului controlat în tensiune.

La ieșirea comparatorului de fază apare semnalul E a cărui componentă de joasă frecvență este proporțională cu diferența de fază dintre f_i și f_0. Filtrul trece jos separă din acest semnal numai componenta de joasă frecvență f_e și o lasă să treacă la oscilatorul comandat în tensiune.

Să presupunem că frecvența semnalului de la intrarea f_i este destul de apropiată de frecvența semnalului provenit de la oscilatorul comandat în tensiune f_0. La ieșirea comparatorului de fază apare o frecvență diferență $f_i—f_0$. Această frecvență poate trece prin filtrul trece jos și comandă oscilatorul. Frecvența acestuia va fi astfel modificată încît vom avea în final $f_0 = f_i$. La variații ale frecvenței semnalului de intrare sistemul PLL corectează faza oscilatorului și frecvența semnalului de ieșire urmărește aceste variații. Deci avem o *calare* a frecvenței semnalului de ieșire pe cea a semnalului de intrare. Același fenomen se petrece și cînd apar variații ale frecvenței oscilatorului comandat în tensiune.

Să examinăm acum schema unui sintetizor care generează semnale în banda de 144 MHz. Oscilatorul comandat în tensiune OCT generează semnale cu frecvențe în jurul $f_0 = 24$ MHz. Un astfel de oscilator nu poate fi foarte stabil. Stabilitatea sa se mărește prin controlul automat al fazei față de un oscilator cu cristal de cuarț. În caz de nesincronizare la ieșirea comparatorului de fază apare o tensiune în formă de dinți de fierăstrău care trece oscilatorul prin întregul său domeniu de variație. Cînd se atinge frecvența prescrisă diferența de fază se anulează Comparația de fază se face la o frecvență extrem de scăzută astfel ca pașii de frecvență ai sintetizorului să fie foarte mici.

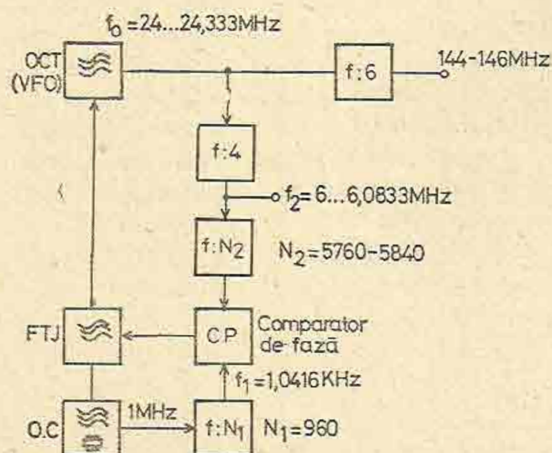


Fig. 19.6. Schema bloc a unui sintetizor cu buclă PLL pentru gama de 2 m

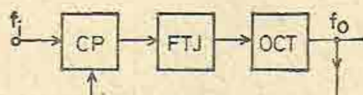


Fig. 19.5. Schema de principiu a unui circuit PLL

Să calculăm cum se obține frecvența $f = 144$ MHz. Frecvența fixă de comparație se obține din divizarea semnalului de 1 MHz cu divizorul fix 960. Se obține $f_1 = 1\ 000\ 000$ kHz : 960 = 1,041667 kHz. Frecvența oscilatorului comandat f_0 trebuie astfel divizată încît la cealaltă intrare a comparatorului de fază să se aplice tot 1,041666 kHz. Pentru aceasta se divide cu 4 deci:

$$24\ 000\ 000 \text{Hz} : 4 = 6\ 000\ 000 \text{ Hz}$$

apoi cu 5 760 de la divizorul variabil

$$6\ 000\ 000 : 5\ 760 = 1\ 041\ 666 \text{ kHz}$$

Bucla PLL reglează frecvența oscilatorului comandat pe 24 MHz și un multiplicator de frecvență cu factorul 6 ridică frecvența la 144 MHz.

Pentru orice altă frecvență din banda de 144 MHz împărțită în 80 de canale la un ecart de 25 MHz se alege un divizor din intervalul 5760... 5840. Deci pentru frecvența 144,075 MHz rezultă un divizor 5763, iar oscilatorul va oscila pe frecvența de 24,012500 MHz.

În domeniul de unde scurte 3...30 MHz schema este mai complicată pentru că intervalele de frecvență trebuie să fie de cel mult 1 kHz. Pentru aceasta se introduc în bucla PLL unul sau mai multe mixere.

Prezentăm în încheiere schema bloc a unui sintetizor în banda 3...30 MHz cu două bucle PLL

Un oscilator cu cuarț oscilează pe frecvențe de 10 MHz. Semnalul este introdus într-un divizor care scoate la ieșire frecvențele 100 Hz, 1 kHz și 5 MHz. Un oscilator de frecvență variabilă VFO furnizează frecvențe în banda 2...3 MHz. În bucla PLL_1 oscilatorul controlat în tensiune lucrează în pași de 100 Hz. În această buclă semnalul dat de VFO (2...3 MHz) este mixat cu 65 MHz provenit din altă cale de multiplicare și mixare a frecvenței de 10 MHz. La ieșirea buclei PLL_1 vom avea una din frecvențele din banda 67...68,000 MHz în pași de 1 kHz. Oscilatorul buclei PLL_1 lucrează în pași de 1 MHz, dați de divizorul de frecvență, și poate fi acordat între 6 și 33 MHz. Prin mixare cu 67...68 MHz se obține la ieșirea buclei PLL_2 semnale cu frecvențe reglabile între 73 și 100 MHz. Prin mixare substractivă cu 70 MHz se poate obține tot domeniul de frecvențe 3...30 MHz. Acest mod de sinteză a frecvențelor s-a răspîndit mult și este utilizat în multe emițătoare de unde scurte cu mici variații.

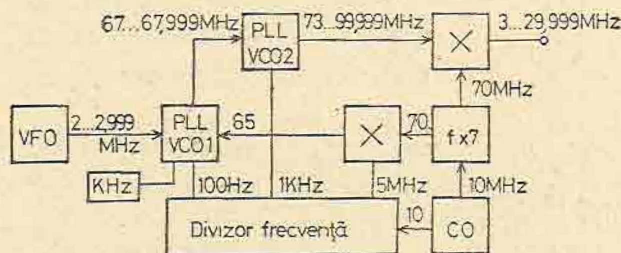


Fig. 19.7. Schema bloc a unui sintetizor cu două bucle PLL pentru întreg domeniu US

19.4. Transverterul

Denumirea provine din unirea a două cuvinte englezești transmitter = =emițător și converter=convertor. Dacă avem deja un emițător într-o bandă oarecare putem să-l facem să lucreze și în alte benzi printr-o nouă mixare.

Presupunem că avem un emițător în unde scurte și vrem să-i extindem domeniul de lucru în banda de 144 MHz. Vom mixa banda 28...30 MHz cu frecvența fixă de 116 MHz. Semnalul de la ieșirea preamplificatorului din emițătorul de US și semnalul dat de un oscilator auxiliar cu cuarț se mixează într-un modulator în inel. La ieșirea acestuia se obține suma acestor frecvențe, semnal care se introduce într-un amplificator final de RF.

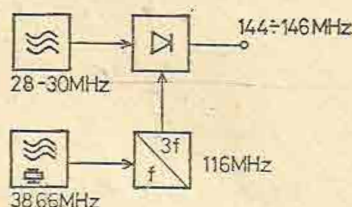


Fig. 19.8. Schema bloc a unui transverter oentru un emițător în banda de 2 m

Test

1. Desenați schema bloc a unui emițător AM care funcționează pe principiul multiplicării de frecvență.
2. Un emițător modulat în frecvență lucrează după următorul plan de frecvențe; 12-36-72-144 MHz. Calculați deviația de frecvență a oscilatorului dacă deviația de frecvență a emițătorului este 3 kHz.
3. Desenați schema bloc a unui emițător cu bandă laterală unică
4. Ce dezavantaje prezintă emițătoarele care lucrează pe principiul multiplicării de frecvență.
5. Cum funcționează un oscilator cu buclă PLL?

Răspunsuri

1. Vezi schema 19.1.
2. Raportul frecvențelor este $\frac{144}{12} = 12$

$$f_{osc} = \frac{f}{12} = \frac{3000}{12} = 250 \text{ kHz}$$

3. Vezi schema 19.3.
4. La fiecare mixare apar armonici care pot fi radiate în eter.
5. Frecvența unui oscilator comandată în tensiune (VCO) este comparată printr-un divizor de frecvență cu frecvența unui oscilator cu cuarț. Tensiunea rezultată la ieșire comparatorului este introdusă printr-un FTJ în VCO.

Capitolul 20

Oscilatorul

Recapitulînd, etajele unui emițător MA sînt: oscilatorul, bufferul, amplificatorul RF, mixerul, multiplicatorul de frecvență, preamplificatorul și amplificatorul final de RF.

20.1. Amplificatorul acordat

Să considerăm schema unui amplificator de bandă largă (fig. 20.1 a) echipat cu un tranzistor. După cum se observă, celelalte elemente de circuit sînt numai rezistențe și condensatoare (amplificator *RC*) iar amplificatorul poate funcționa chiar la frecvențe ridicate (14 MHz). Condensatoarele prezintă reactanțe foarte scăzute la această frecvență.

Dacă în loc de rezistența din colectorul amplificatorului de bandă largă se montează un circuit rezonant paralel, acesta va prezenta la frecvența de rezonanță o impedanță foarte mare și implicit o amplificare în tensiune mare. Dar această amplificare mare apare numai la frecvența de rezonanță sau în jurul acesteia. Acest amplificator este numit amplificator rezonant, amplificator acordat sau amplificator selectiv.

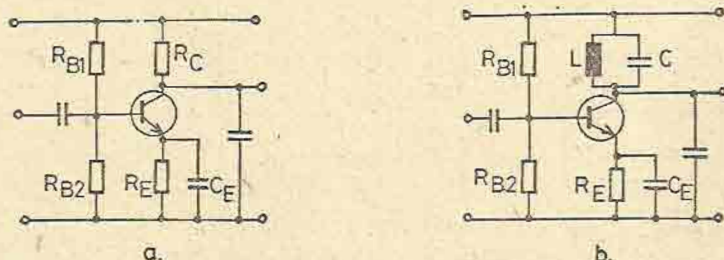


Fig. 20.1. Amplificator de bandă largă *(a)*; Amplificator selectiv *(b)*

Frecvența de lucru a amplificatorului este determinată de mărimea elementelor *L* și *C* după formula lui Thomson

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

iar lățimea de bandă depinde de factorul de calitate al circuitului

$$B = \frac{f_0}{Q}$$

Aceste amplificatoare au dezavantajul că trebuie reacordate la fiecare schimbare de frecvență pentru a funcționa numai la rezonanță. De aceea nu se prea utilizează în benzile de unde scurte alocate radioamatorilor. Dar în benzile de UUs banda obținută este relativ largă și se realizează ușor.

Amplificatorul acordat stă la baza schemei de oscilator LC.

20.2. Oscilatorul LC

Oscilatorul este etajul cel mai important al unui emițător, și de aceea va fi prezentat mai pe larg.

Deosebirea între amplificator și oscilator este netă: la intrarea amplificatorului se aplică un semnal iar la ieșire se obține același semnal cu parametri mult măriți (tensiune, curent sau putere) pe seama surselor de tensiune continuă de alimentare; oscilatorului nu i se aplică nici un semnal din afară, iar semnalul de la ieșire este produs de însuși circuitul imentar din surse de curent continuu. Totul este ca oscilațiile produse să fie întreținute. Aceasta se realizează cu reacția pozitivă, proces prin care o parte din tensiunea de la ieșire este introdusă la intrare. Există două feluri de reacție: reacție pozitivă și reacție negativă. Dacă tensiunea de la ieșire este introdusă în opoziție de fază cu semnalul de la intrare ($\varphi = 180°$) reacția este negativă, iar amplificarea totală a etajului este mai mică. Reacția negativă se folosește în tehnica audio unde se obține o scădere a distorsiunilor și o bandă de trecere mai mare.

Dacă tensiunea adusă prin reacție la intrare este în fază cu tensiunea de la intrare $\varphi = 0°$ tensiunile se adună și amplificarea crește. Acest fenomen a fost folosit la începuturile radiofoniei în radioreceptoarele cu reacție. Se obținea astfel o selectivitate foarte bună la intrare, dar recepția era foarte instabilă datorită mutării frecvente a punctului de funcționare.

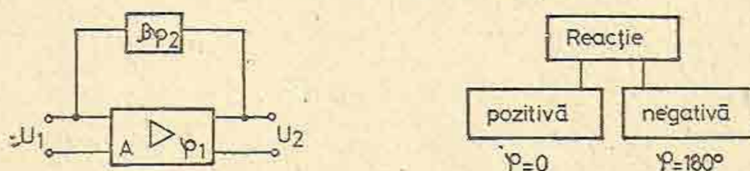


Fig. 20.2. Principiul reacției

Un amplificator cu reacție are o amplificare calculabilă cu expresia:

$$A = \frac{A_0}{1 - \beta A_0}$$

unde A este amplificarea etajului cu reacție;

β — factorul de reacție;

A_0 — amplificarea fără reacție.

Pentru ca A să fie foarte mare trebuie ca $1 - \beta A_0$ să fie cît mai mic. Condiția de oscilație a amplificatorului cu reacție, cunoscută sub numele de relația lui Barkhausen este:

$$\beta A_0 = 1$$

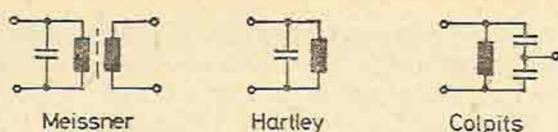


Fig. 20.3. Cuplajul circuitelor de reacţie la oscilatoarele RC

Să presupunem că de la ieşirea unui amplificator cu factorul de amplificare $A_0 = 100$ introducem la intrare numai a suta parte din tensiunea de ieşire să zicem 100 mV, deci 1 mV. Această tensiune va fi din nou amplificată şi va ajunge din nou la 100 mV. În acest fel oscilaţiile se întreţin.

Oscilatoarele pot funcţiona la frecvenţe joase (pînă la cîteva zeci de kHz), în radiofrecvenţă (sute de kHz — zeci de MHz), sau la frecvenţe foarte înalte (sute de MHz). Din punctul de vedere al structurii reţelei care realizează reacţia deosebim oscilatoare *RC*, oscilatoare *LC*, oscilatoare cu cuarţ, etc.

Oscilatoarele *LC* lucrează în domeniul frecvenţelor înalte şi lor le sînt impuse condiţii deosebite de stabilitate a frecvenţei şi amplitudinii.

Reţelele de bază ale acestor oscilatoare sînt prezentate în figura 20.3. Sînt desenate reţelele prin care se realizează reacţia pozitivă. Prima reţea realizează reacţia prin cuplajul mutual dintre cele două bobine. Acest oscilator este cunoscut şi sub numele de oscilator Meissner*. Oscilatoarele Hartley şi Colpits sînt cunoscute ca oscilatoare în trei puncte. Reacţia se realizează printr-o priză la bobină (Hartley) sau între doi condensatori (Colpits).

20.2.1. Oscilatorul Meissner

După cum am amintit reacţia se realizează prin cuplajul mutual dintre bobina circuitului oscilant şi bobina circuitului de intrare. Oscilatorul funcţionează în schemă cu emitor comun, dar şi în celelalte moduri de conexiune. Pentru ca oscilatorul să funcţioneze trebuie ca sensurile de înfăşurare ale bobinelor să fie opuse. Semnalul de la ieşire se extrage prin condensatorul din colectorul tranzistorului.

Factorul de reacţie al circuitului depinde de factorul de cuplaj al bobinelor, iar frecvenţa de oscilaţie se calculează cu formula:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{sau} \quad f_0 = \frac{159}{\sqrt{LC}}$$

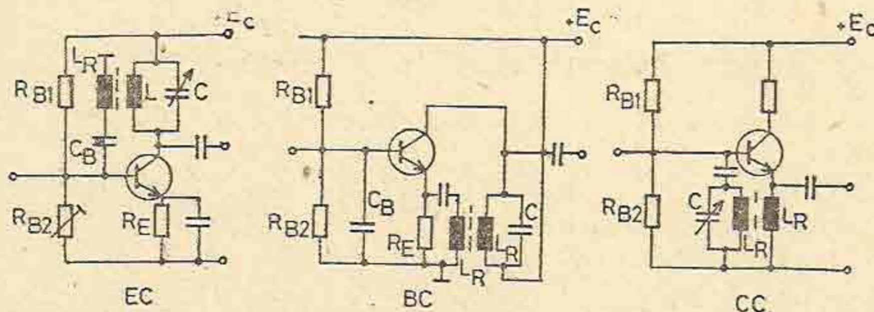


Fig. 20.4. Oscilatorul cu cuplaj inductiv (Meissner)

* *Regulă nemotehnică*: *M* cuplaj mutual (Meissner), *H* — Henry (bobină) Hartley, *C* — condensator (Colpits).

în cazul cînd mărimile din formulă se măsoară astfel:

f_0[MHz] L[μH] C[pF]

Rezistorii R_1 și R_2 determină punctul de funcționare și factorul de amplificare al tranzistorului. Rezistorul și condensatorul din emitor stabilizează punctul de funcționare.

20.2.2. Oscilatoare în trei puncte

Dacă analizăm oscilatorul cu cuplaj inductiv, observăm că putem evita cuplajul mutual prin utilizarea unei bobine cu priză. Rezultă un oscilator în trei puncte. Între acestea se montează trei reactanțe. Cele corespunzătoare prizei sînt de același fel iar a treia este opusă.

Oscilatorul cu priză inductivă este oscilatorul Hartley, iar cel cu priză capacitivă este oscilatorul Colpitts. În ambele cazuri trebuie ținut seama că tensiunile de la capetele circuitului oscilant sînt defazate cu 180° față de cea de pe priză. Cele două oscilatoare se pot construi în montaje cu tranzistoare în conexiune CC (colector comun), EC (emitor comun) și BC (bază comună). Trebuie adăugat că stabilitatea de frecvență a oscilatorului Hartley nu este prea bună. Oscilatorul Colpitts este mai răspîndit datorită ușurinței cu care se construiește.

Dacă la un oscilator Colpitts, se măresc capacitățile condensatorilor C_1 și C_2 și în serie cu inductanța L se introduce o capacitate suplimentară C, se obține schema oscilatorului Clapp. Condensatorul C slăbește cuplajul dintre tranzistor și circuitul oscilant și astfel crește stabilitatea frecvenței.

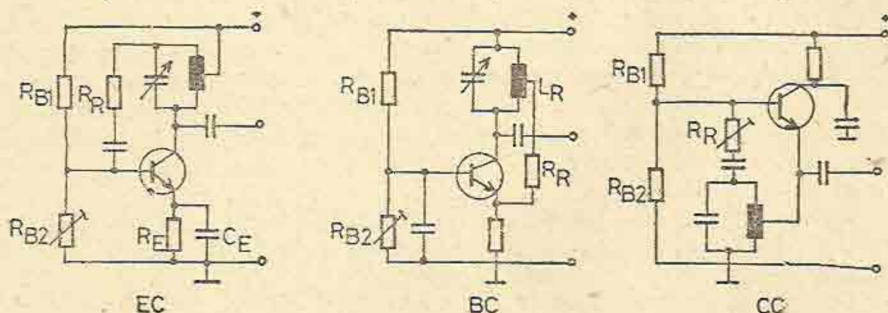


Fig. 20.5. Oscilatoare Hartley

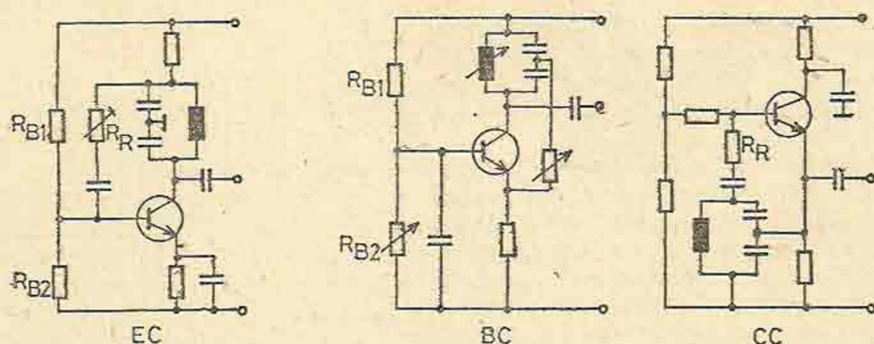


Fig. 20.6. Oscilatoare Colpitts

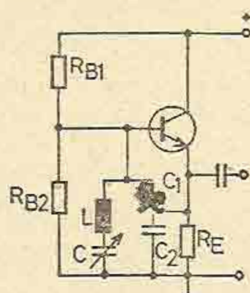


Fig. 20.7. Oscilator Clapp

Stabilitatea frecvenței oscilațiilor depinde de mai mulți factori dintre care cei mai importanți sînt: variația temperaturii mediului ambiant, variația tensiunii de alimentare și influențele de natură mecanică.

Pentru obținerea unei bune stabilități față de variațiile de temperatură trebuie realizată compensarea termică a elementelor circuitului oscilant. Variația în funcție de temperatură a inductanței L (coeficientul de temperatură) trebuie să fie compensată de variația în funcție de temperatură a capacității C.

Frecvența oscilațiilor unui oscilator este influențată și de parametrii tranzistorului. Aceștia depind în mare măsură de tensiunile de polarizare și de temperatură. Pentru aceasta se vor utiliza tranzistoare cu frecvența de tranziție mult mai mare decît frecvența de lucru a oscilatorului. De asemenea se va realiza un cuplaj cît mai slab între circuitul oscilant și tranzistor. De asemenea pentru slăbirea cuplajului între oscilator și sarcină se montează un etaj separator.

O stabilitate mare se poate obține cel mai bine cu ajutorul cristalelor de cuarț.

20.3. Oscilatoare cu cuarț

Un cristal de cuarț șlefuit într-un anume fel este un element care poate înlocui un circuit oscilant pe o frecvență dată și cu un factor de calitate de foarte bun. Fenomenul care face posibilă utilizarea cristalului în oscilatoare este următorul: pe fețele opuse ale cristalului se aplică o tensiune electrică iar cristalul se va deforma mecanic (va vibra) în ritmul frecvenței acestei tensiuni. În funcție de modul de tăiere al cristalului frecvența de oscilație variază între 1 kHz și circa 20 MHz.

Există cristale care pot rezona pe armonicile impare ale modului fundamental de oscilație. Oscilatoarele în care sînt utilizate aceste cristale se numesc oscilatoare cu cristale overtone.

Din punct de vedere electric, un cristal de cuarț este echivalent cu un circuit oscilant serie RLC, în paralele cu o capacitate C_0 (figura 20. 9. *a)*. Apar două frecvențe de rezonanță: frecvența de rezonanță serie f_s, datorită circuitului RLC și frecvența de rezonanță derivație f_d datorită capacității introdusă de armături. Aceste frecvențe diferă între ele cu circa 1%.

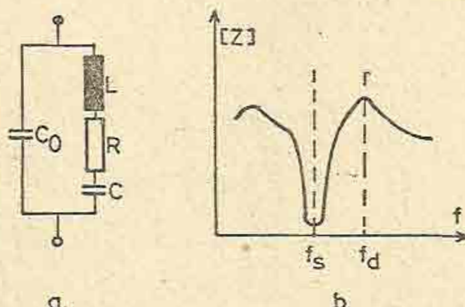


Fig. 20.8. Cristale de cuarț: *a)* Schema echivalentă; *b)* variația impedanței cu frecvența

La frecvența de rezonanță serie cristalul prezintă o impedanță foarte mică. Dacă montăm cristalul în paralel cu un element al amplificatorului, de exemplu cu rezistența de emiter, la frecvența f_s o va scurtcircuita și amplificarea va crește foarte mult pînă la amorsarea oscilațiilor.

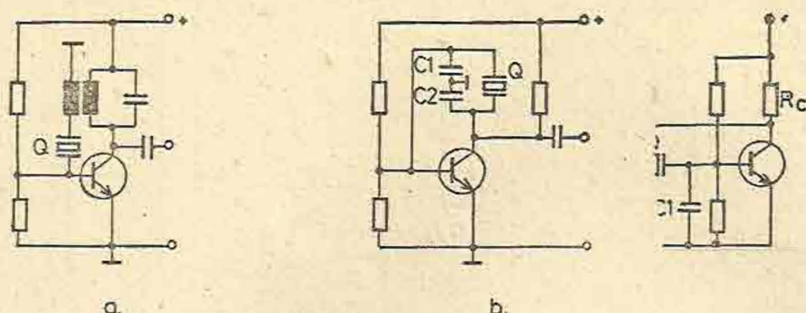


Fig. 20.9. Oscilator de cuarţ: *a)* — rezonanţă serie; *b)* — rezonanţă derivaţie

Cristalul poate fi montat şi în serie în bucla de reacţie. La frecvenţa de rezonanţă serie reacţia creşte atît de mult, încît se declanşează oscilaţiile.

Oscilatoarele cu cristal la frecvenţa derivaţie funcţionează în zona de comportare inductivă a cristalului. În schema din figura 20.9. *b.* cristalul joacă rolul inductanţei într-un oscilatôr colpitts.

20.4. Etaje de separare

Pentru a nu se încărca oscilatorul cu o sarcină prea mare se montează la ieşirea sa un etaj separator, numit adesea buffer. Bufferul are la intrare o impedanţă mare, iar la ieşire o impedanţă mică. Acest etaj este foarte util mai ales în telegrafie unde încărcarea deosebită poate influenţa frecvenţa oscilatorului.

Tranzistorul din figură este în montaj CC şi prezintă astfel o amplificare în tensiune mai mică decît unitatea. În schimb amplificarea în curent este foarte bună ceea ce face ca în amplificarea în putere să fie mulţumitoare.

Reţinem că bufferul realizează adaptarea între impedanţa mare de ieşire a oscilatorului şi impedanţa mică a unui cablu coaxial.

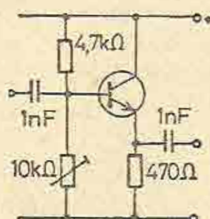


Fig. 20.10. Etaj de separare în montaj C

20.5. Multiplicarea frecvenţei

De multe ori este necesară o frecvenţă mai mare decît cea generată de oscilator. În acest scop se utilizează multiplicatorul de frecvenţă. (fig. 20.11). În principiu semnalul sinusoidal de la ieşirea unui oscilator este deformat de un element neliniar precum tranzistorul. Cînd tranzistorul funcţionează în zona neliniară a caracteristicii sale, la ieşire apar numeroase frecvenţe armonice. Din motive de randament, nu se foloseşte pentru un etaj un ordin de multiplicare mai mare de trei. În plus este mai uşor de selectat o armonică de ordin mic.

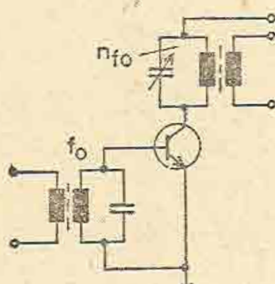


Fig. 20.11. Multiplicator de frecvență

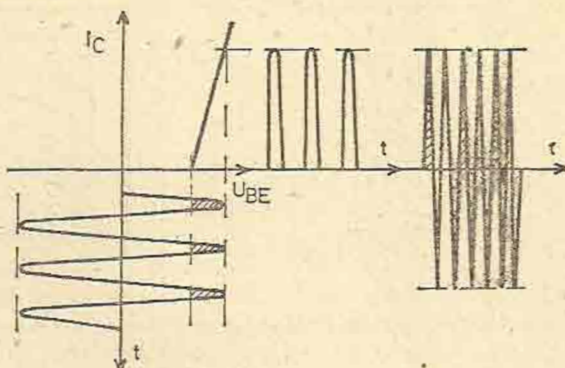


Fig. 20.12. Diagrama multiplicării de frecvențe

După cum se observă în diagrama din fig. 20.12 tranzistorul amplifică numai vîrfurile pozitive ale semnalului aplicat pe bază (f_0). Acestea excită circuitul oscilant care rezonează pe frecvența proprie de acord, ce poate fi dublă ($2f_0$). Semnalul de la ieșire este complet, sinusoidal.

Acest procedeu este des utilizat în emițătoarele radioamatorilor. Trebuie să amintim că frecvențele benzilor de radioamatori se află între termenii unei serii geometrice cu rația $q=2$. Prin urmare: 1,75 MHz (160 m), 3,5 MHz (80 m), 7 MHz (40 m), 14 MHz (20 m), și 28 MHz (10 m). De asemenea avem și seria: 7 MHz (40 m), 21 MHz (15 m). Dacă oscilatorul lucrează pe 1,7 MHz, vom folosi patru dublări și o triplare.

Întrebări recapitulative

1. Ce este un amplificator selectiv?
2. Care sînt oscilatoarele LC principale?
3. Desenați schema unui oscilator cu cuplaj inductiv (Meissner)
4. Desenați schema unui oscilator Colpitts în conexiune CC?
5. Desenați schema unui oscilator Clapp.
6. Comparați un oscilator LC și un oscilator cu cuarț
7. Desenați schema unui oscilator cu cuarț
8. Ce este un buffer?
9. Cum funcționează un multiplicator de frecvență?

Răspunsuri

1. Un amplificator acordat are în circuitul de sarcină un circuit rezonant. Lucrează pe o bandă îngustă.
2. Principalele oscilatoare LC sînt: Meissner, Colpitts și Hartley.
3. Vezi fig. nr. 20.4.
4. Vezi fig. nr. 20.6.
5. Vezi fig. nr. 20.7.
6. Avantajul stabilității frecvenței. Dezavantajul acordului în limite largi.
7. Vezi fig. nr. 20.8.
8. Bufferul separă oscilatorul de etajele următoare.
9. Semnalul sinusoidal este deformat de un dispozitiv neliniar. Frecvențele armonice sînt selectate de un circuit rezonant acordat corespunzător.

Capitolul 21

Amplificatoare finale de radiofrecvență

Într-un emițător oscilatorul este urmat de etajul separator și apoi de mixer sau multiplicatorul de frecvență. După ce a fost realizată frecvența dorită semnalul de radiofrecvență trebuie amplificat într-un amplificator de putere. Acesta se mai numește amplificator final și are rolul de a ridica puterea semnalului pînă la cea care trebuie radiată în antenă. Acest amplificator realizează de regulă și adaptarea la impedanța cablului de antenă.

Amplificatoarele de radiofrecvență pot lucra în regimuri diferite, numite clase de funcționare. Clasele de funcționare A, B și C sînt definite de regiunea în care se situează punctul de funcționare pe caracteristica statică a elementului amplificator, tub electronic sau tranzistor.

Funcționarea în clasă A înseamnă că punctul de lucru se află în mijlocul porțiunii liniare a caracteristicii. La funcționarea în clasă B punctul de funcționare se află pe cotul inferior al caracteristicii tubului sau tranzistorului, astfel că fără un semnal la intrare prin dispozitivul amplificator nu circulă curent anodic sau de colector. În clasă C amplificatorul este blocat atît timp cît nu este comandat cu un semnal cu o amplitudine destul de mare. Acest ultim mod de funcționare este preferat pentru amplificatoarele finale ale emițătoarelor care lucrează în telegrafie sau în modulație de frecvență, mai ales datorită randamentului foarte bun. Cea mai mare amplificare în putere se obține cu etajele în montaj EC. Dacă amplificatorul este selectiv va avea în circuitul de colector un circuit rezonant dar banda de frecvențe este îngustă iar dacă amplificatorul este de bandă largă, rezistența de sarcină trebuie aleasă de valoare cît mai mică pentru a se realiza adaptarea la impedanța mică a antenei. Se poate folosi și în transformator de cuplaj pe un miez coroidal.

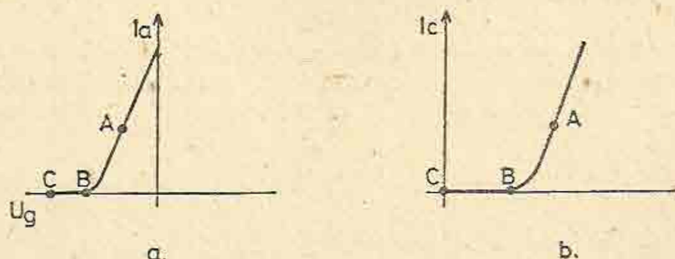


Fig. 21.1. Pozițiile punctelor de funcționare în clasă A, B, și C
a — tub electronic; *b* — tranzistor

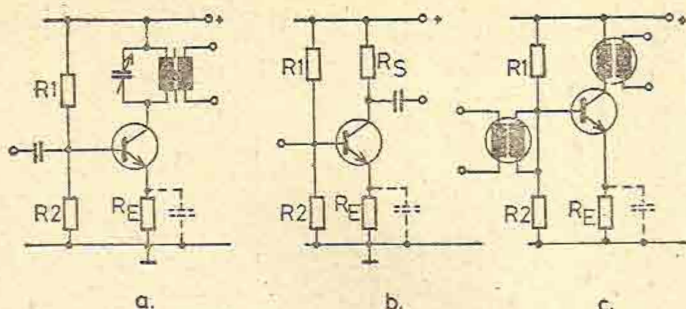


Fig. 21.2. Amplificatoare de radiofrecvență: *a* — amplificator acordat; *b* — amplificator de bandă largă cu sarcină rezistivă; *c* — amplificator de bandă largă cu ieșire pe transformator

Deci, primul amplificator are dezavantajul lucrului pe o frecvență fixă, frecvența de rezonanță, dar are o amplificare mare. Pentru a lucra pe o altă frecvență, situație ce apare deseori în trafic, trebuie reacordat circuitul de sarcină. Amplificatorul cu sarcină rezistivă este de bandă largă, dar amplificarea sa este mică, și de aceea se utilizează doar ca preamplificator. Cel de-al treilea montaj este folosit ca amplificator prefinal datorită posibilităților mari de adaptare pe care le oferă.

Pentru a putea înțelege mai bine aceste amplificatoare să trecem în revistă problemele pe care le ridică funcționarea acestora.

21.1. Bilanțul puterilor într-un amplificator RF.

Într-un amplificator RF se introduce la intrare un semnal de putere mică, iar la ieșirea sa se obține o putere mai mare. S-ar părea că se câștigă putere, dar prin amplificare se comandă cu un curent mic un curent mare. Prin urmare pentru a obține energie în curent alternativ trebuie să introducem energie în curent continuu. Dar numai o parte din această energie se transformă în energie de radiofrecvență. De aceea va trebui să vorbim și aici, ca și la motoare, despre randament.

21.1.1. Randamentul

Randamentul η este raportul dintre puterea utilă și puterea absorbită. Randamentul unui amplificator RF constituie raportul dintre puterea de radiofrecvență și puterea de curent continuu absorbită

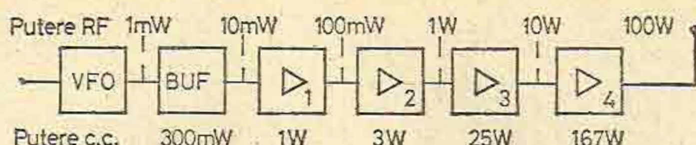
$$\eta = \frac{P_{RF}}{P_{CC}}$$

P_{RF} — puterea de radiofrecvență obținută la ieșire

P_{cc} — puterea în curent continuu consumată

Randamentul se exprimă în procente.

Fig. 21.3. Bilanțul de puteri al unui emițător



Să calculăm randamentul emițătorului din fig. 21.3 Deci introducem 1 mW radiofrecvență și obținem 10 W

$$n = \frac{P_{RF}}{P_{cc}} = \frac{P_{iesire}}{P_{cc\ total}} = \frac{10\ \text{W}}{0{,}3 + 1 + 3 + 25 - 167} = \frac{100}{196{,}3} = 51\%$$

51% este un randament destul de bun. Calculînd randamentul etajului final obținem 60%. Totuși unde este restul?

21.1.2. Puterea disipată

Cea mai mare parte a energiei disipate se pierde prin încălzirea elementului amplificator, tranzistor sau tub electronic. Puterea disipată este deci diferența dintre puterea absorbită de la sursa de curent continuu și puterea furnizată la ieșire

$$P = P_{cc} - P_{RF}$$

Pentru a calcula puterea consumată de un etaj final al unui radioemițător avem formula

$$P = U_a I_a \quad \text{sau} \quad P = U_c I_{co}$$

unde U_a este tensiunea anodică și I_a curentul anodic pentru tuburi iar U_c — tensiunea de colector și I_c curentul de colector.

21.1.3. Puterea de ieșire

Puterea de ieșire a unui emițător se poate măsura cu aproximativ destul de bună pe o antenă artificială. Aceasta este o rezistență perfect adaptată la impedanța de ieșire a emițătorului și poate transforma în căldură puterea generată de emițător. Tensiunea efectivă de la bornele rezistenței se poate măsura cu un cap de probă de RF, iar puterea de ieșire se poate calcula cu formula

$$P_e = \frac{U^2}{R}$$

U — valoarea efectivă a tensiunii de RF
R — Rezistența antenei artificiale

21.1.4. Rezistența de radiație a căldurii

Puterea disipată pe anod sau pe colector este cedată sub formă de căldură în mediul înconjurător. Tuburile electronice suportă temperaturi mari fără să se deterioreze, pot radia ușor căldura în mediul înconjurător, avînd uneori o suprafață mare iar în cazul puterilor mari pot fi ventilate.

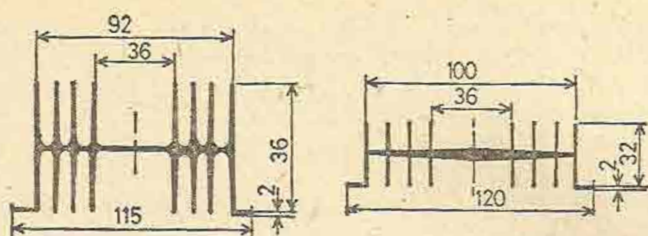


Fig. 21.4. Radiatoare

Tranzistoarele cu siliciu pot suporta maximum 180°. Deoarece suprafața lor este foarte mică, tranzistoarele se montează pe structuri metalice cu suprafață mare numite radiatoare. Dacă suprafața radiatorului este înnegrită, radiația căldurii se îmbunătățește. Pentru a caracteriza capacitatea de răcire a unui radiator se definește așanumita rezistență de radiație a căldurii.

În joncțiunea unui tranzistor se disipă o anumită cantitate de căldură care este cedată aerului care-l înconjoară. Dar pînă a ajunge la aer căldura trece prin joncțiune, apoi prin carcasa tranzistorului, prin foița izolantă la radiator și abia acum în aer. Deci rezistența termică a carcasei R_k, rezistența termică a izolatorului R_i, rezistența termică a radiatorului R_r fac ca temperatura de pe joncțiune θ_j să scadă pînă la temperatura aerului θ_a. Rezistența termică de radiație este raportul dintre difrența de temperatură $\theta_j - \theta_a$ și puterea totală disipată prin căldură, P_{tot}:

$$R_{th} = \frac{\theta_j - \theta_a}{P_{tot}}$$

Rezistența termică de radiație se măsoară în grade Celsius pe Watt $\frac{°C}{W}$. Pentru a se obține o disipație bună a căldurii trebuie ca această rezistență să fie cît mai mică.

21.2. Amplificatorul final al emițătorului

Amplificatorul final al emițătorului are rolul de a produce un semnal de o anumită putere care trebuie radiată prin antenă în eter. Pentru a utiliza cît mai judicios energia se pune accent mai ales pe randamentul etajului final. De aceea acesta nu va funcționa niciodată în clasa A, randamentul acestuia nedepășind 50%. Totuși în acest regim semnalul nu este distorsionat aproape de loc.

În montajele cu tuburi electronice se folosește regimul de funcționare AB_1. Punctul static de funcționare se situează între cele două zone de lucru A și B de pe caracteristica de comandă a tubului electronic. Indicele 1 arată că nu există curenți de grilă. Dacă semnalul de comandă ar fi mai mare decît tensiunea de negativare a grilei, grila ar deveni la un moment dat pozitivă și ar atrage electronii negativi. În felul acesta ar apare un curent de grilă care ar micșora rezistența de intrare a amplificatorului, iar semnalul de comandă ar fi distorsionat.

Pentru a preîntîmpina o astfel de situaţie, se introduce reglajul automat al nivelului (RAN) în etajul amplificator prefinal. Dacă apare un curent de grilă, se produce o tensiune negativă care mută punctul de funcţionare a amplificatorului final şi în acelaşi timp micşorează amplificarea etajului preamplificator.

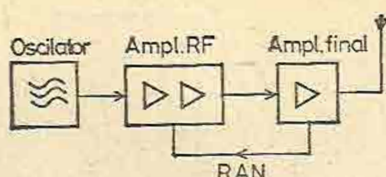


Fig. 21.5. Reglajul automat al nivelului

Pentru emiţătoarele telegrafice (CW) şi cele modulate în frecvenţă se utilizează etaje finale care funcţionează în clasă C. Randamentul acestor etaje este de cca 85% deoarece curentul rezidual este aproape nul şi numai pe timpul semnalului de comandă circulă impulsuri scurte de curent. Totuşi circuitul rezonant de la ieşirea etajului final al emiţătorului reuşeşte să refacă forma sinusoidală a semnalului.

21.3. Scheme de amplificatoare finale de RF cu tuburi

Amplificatoarele finale cu tuburi se construiesc în două variante: cu catodul la masă pentru tetrode şi pentode şi cu grilă la masă pentru triode.

În cazul montajului cu catodul la masă semnalul se aplică pe grila de comandă. În cazul montajului cu grila la masă semnalul se aplică pe catod. Montajele lucrează în clasa AB, b şi C iar pentru polarizarea corespunzătoare a grilei tensiunea U_g se introduce printr-un şoc de RF (fig. 21.6 a) sau printr-o rezistenţă (fig. 21.6. b). De asemenea pentru a nu pătrunde nicidecum componenta continuă în circuitul de ieşire, tensiunea anodică alimentează tubul în paralel printr-o bobină. Semnalul de ieşire se culege prin cuplaj inductiv şi se alege în raport de transformare optim pentru adaptarea impedanţei de ieşire a tubului electronic la impedanţa antenei sau a cablului de antenă.

Montajul cu grila la masă cu triode nu are o amplificare în putere prea mare, dar prezintă avantajul că este stabil la frecvenţe înalte. În felul acesta sînt micşorate cuplajele parazite care duc la oscilaţii parazite. Acest montaj se utilizează la amplificatoarele de puteri mai mari decît 500 W, dar trebuie

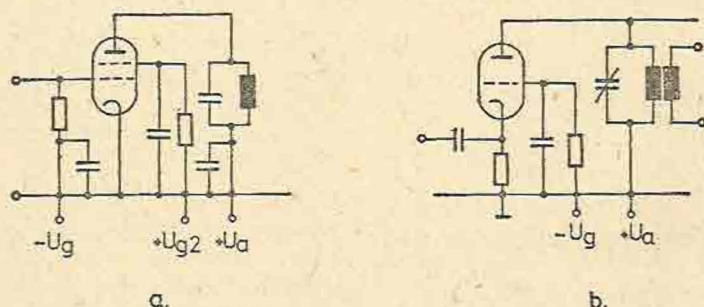


Fig. 21.6. Amplificatoare finale RF *a* — cu catodul la masă *b* — cu grila la la masă

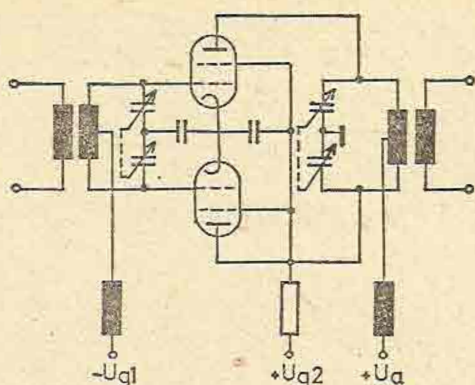


Fig. 21.7. Amplificator final RF cu tuburi în contratimp.

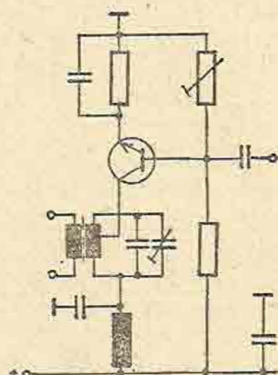
comandate cu puteri relativ mari de aproximativ 1/10 din puterea finală.

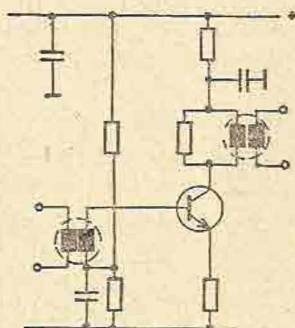
În banda de unde ultrascurte se utilizează amplificatoare finale în contratimp. Semnalul se introduce la intrare printr-un transformator cu priză mediană în secundar. La priză se aplică tensiunea de polarizare a grilelor ambelor tuburi. Semnalele de comandă se aplică în antifază ceea ce înseamnă că, atunci cînd pe o grilă ajunge o alternanță pozitivă pe cealaltă alternanța va fi negativă. În felul acesta tuburile sînt pe rînd în stare de conducție.

21.4. Amplificatoare finale de radiofrecvență cu tranzistoare

La frecvențe nu prea înalte și puteri mici se folosește montajul cu emitorul comun care oferă amplificări mari în putere. În figura 21.8. colectorul este legat la circuitul de sarcină printr-o priză mediană pentru a nu amortiza prea mult circuitul oscilant din sarcină, realizîndu-se și adaptarea.

Pentru a putea lucra în mai multe benzi este necesar să se comute circuitele oscilante, dezavantaj care poate fi eliminat printr-un cuplaj cu transformator toroidal, care funcționează în toată banda de unde scurte. Totuși aceasta reprezintă o soluție de compromis.


Fig. 21.8. Amplificator final cu tranzistor


Fig. 21.9. Amplificator de putere cu bandă largă 3—30 MHz

21.5. Atenuarea radiațiilor parazite ale unui emițător

Radiațiile parazite pot apare în cazul supramodulației, și mai ales datorită reacției pozitive. Un emițător care lucrează într-una din benzile de unde scurte poate radia frecvențe parazite în aceeași bandă sau în domeniul UUS.

21.5.1. Neutralizarea oscilațiilor parazite

În general un emițător poate fi considerat un amplificator cu un factor de amplificare foarte mare. De aceea este posibil să apară foarte ușor cuplaje nedorite care introduc reacții ce provoacă oscilații parazite, chiar în banda de lucru a emițătorului. Aceste frecvențe parazite vor apare sub forma unor benzi laterale în jurul purtătoarei, dar chiar și în benzi cu totul diferite.

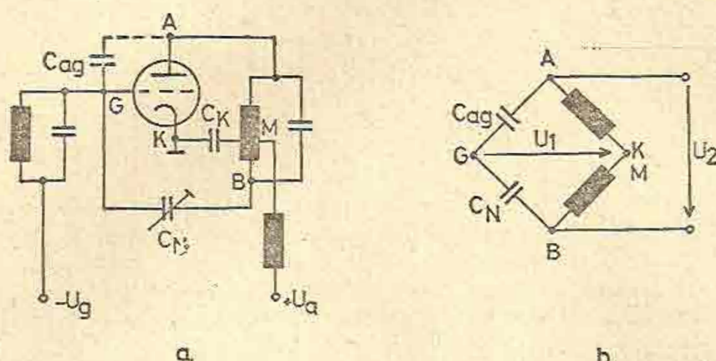


Fig. 21.10. Neutralizarea capacității grilă-anod a unui tub electronic

Cauza acestor neajunsuri rezidă din fenomene fundamentale la care se adaugă neglijențe de construcție, precum așezarea firelor, ecranarea necorespunzătoare, etc.

Suprimarea oscilațiilor nedorite se numește neutralizare și se realizează cu ajutorul așa-numitului condensator de neutralizare C_N. Acest condensator introduce în antifază la intrare o parte din tensiunea alternativă din circuitul de ieșire. Circuitul oscilant nu se mai pune la masă din punct de vedere alternativ, ci printr-o priză, (punctul M). Acest punct se leagă la masă cu condensatorul C_K. (fig. 21.10.).

În fig. 21.10. *b* este dată schema echivalentă a tubului electronic neutralizat. Dacă puntea este echilibrată din tensiunea U_2 care apare între anodul A și punctul B, între grilă și catod nu apare nici o tensiune U_1. Pentru a realiza acest echilibru condensatorul C_N trebuie să fie reglabil.

Amplificatoarele finale tranzistorizate au nevoie de o neutralizare a capacității bază-colector, precum și a rezistenței dintre colector și bază. (fig. 21.11).

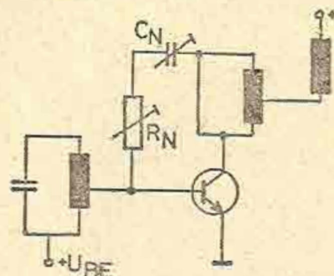


Fig. 21.11. Neutralizarea unui amplificator RF tranzistorizat

21.5.2 Filtre

În afara neutralizării sau a montării șocurilor de RF mai există un dispozitiv eficace de eliminare a radiațiilor parazite ale unui emițător. Acesta este un filtru de bandă care se instalează între etajul final al emițătorului de antenă, așa numitul filtru în π.

Acest filtru este un circuit rezonant cu două condensatoare. Cele două condensatoare fac adaptarea impedanței de ieșire a etajului final la impedanța cablului. Dacă adaptarea este bine realizată filtrul va efectua un transfer maxim de putere, cu alte cuvinte un transfer de putere fără pierderi.

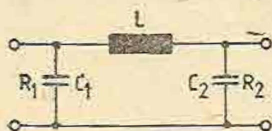


Fig. 21.12. Filtre în π

Deci $P_1 = P_2$. Trebuie să deducem relația de calcul a elementelor filtrului

$$P_1 = P_2 \quad \frac{U^2}{R_1} = \frac{U^2}{R_2} \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = \frac{R_1}{R_2} \quad \frac{U_1}{U_2} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}.$$

Dar raportul tensiunilor este egal și cu raportul reactanțelor capacitive.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{X_1}{X_c} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}; \quad \frac{1}{\omega C_1} \cdot \frac{\omega C_2}{1} = \frac{R_1}{R_2}; \quad \frac{C_2}{C_1} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

Condensatoarele reprezintă reactanțe în curent alternativ. Cu cît un condensator este mai mare cu atît reactanța sa este mai mică Din formula de mai sus deducem că la antenă trebuie montat un condensator cu atît mai mare cu cît rezistența de la baza antenei este mai mică. Iar condensatorul C_1 trebuie să fie cu atît mai mic cu cît impedanța de ieșire a tubului electronic din etajul final este mai mare.

Exemplu: Tensiunea anodică a tubului electronic din etajul final al unui emițător este de 750 V iar curentul anodic 250 mA. Pentru adaptarea la rezistența de la baza antenei de 75 Ω trebuie montat un filtru în π. Care va fi raportul dintre capacitățile acestui filtru?

$$R_1 = \frac{U_a}{I_a} = \frac{750\ \text{V}}{250\ \text{mA}} = 3\ \text{k}\Omega \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{3\ \text{k}\Omega}{75\ \Omega} = 40 \quad \frac{C_2}{C_1} = \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} = \sqrt{40} = 6{,}3$$

Deci condensatorul dinspre antenă trebuie să fie de aproximativ 6 ori mai mare decît cel dinspre emițător.

Pentru a realiza o atenuare eficientă a frecvențelor armonice trebuie ca circuitele să aibă un factor de calitate foarte bun, dar capacitățile condensatoarelor nu trebuie să fie prea mici pentru a nu favoriza trecerea frecvențelor foarte înalte. În practică acest factor de calitate este cuprins între 10 și 15.

Calculul întregului filtru depășește nivelul acestei cărți. Vom aminti doar că inductanța bobinei filtrului se alege aproximativ 30 μH și se construiește cu prize.

Test

1. Trasați curba caracteristică de comandă a unui tub sau tranzistor și marcați zonele de funcționare în clasă A, B, și C.
2. Ce se înțelege prin puterea disipată pe colectorul unui tranzistor.
3. Cum se realizează răcirea tuburilor sau tranzistorilor din amplificatoarele RF finale.
4. Desenați schema unui amplificator RF final cu grila la masă.
5. Care sînt cauzele pentru care un amplificator de RF poate oscila.
6. Care sînt măsurile prin care se pot elimina armonicile apărute într-un etaj final al unui emițător.
7. Desenați schema unui amplificator final de RF și arătați mijloacele de suprimare a autooscilațiilor în banda de lucru precum și în UUS.

8. Un amplificator final funcţionează cu următoarele date:

$$U_a = 2000 \text{ V}; I_a = 450 \text{ mA}; P_u = 600 \text{ W}$$

Să se calculeze puterea disipată şi randamentul.

9. Într-un amplificator final de radiofrecvenţă tubul funcţionează la o tensiune anodică de 1 000 V şi un curent anodic de 200 mA. În final se măsoară o putere de RF de 150 W.

a. Să se calculeze puterea la intrare.
b. Care este puterea disipată pe anod?
c. Să se calculeze randamentul.
d. Să se calculeze impedanţa de ieşire a tubului electronic.
e. Să se calculeze raportul C_2/C_1 al filtrului π care trebuie montat la ieşire.

Răspunsuri

1. Figura nr. 21.1.

2. Puterea disipată pe colectorul unui tranzistor este puterea consumată în curent continuu şi transformată în căldură. Această putere este indicată de producătorul tranzistorului şi nu trebuie să fie depăşită.

3. Căldura radiată de un tub amplificator final se disipă pe suprafaţa mare a balonului de sticlă în aerul înconjurător. Dacă temperatura la care ajunge tubul este mare se îmbunătăţeşte schimbul regimului termic prin ventilaţie.

Pentru răcire tranzistoarele se montează pe radiatoare metalice cu suprafaţă mare de culoare neagră. Schimbul de căldură se face între colector şi radiator şi de aici prin radiaţie în mediul înconjurător.

4. Figura nr. 21.6.*b*.

5. Autooscilaţiile pot apare din neglijenţe de montaj precum trasee lungi ale firelor de legătură, ecranare necorespunzătoare sau prin cuplaje între intrare şi ieşire. Aceasta numai din punctul de vedere al constructorului.

6. Pentru a evita apariţia armonicilor trebuie asigurat un regim de funcţionare cît mai liniar. Amplificatorul va funcţiona în clasă A şi AB.

7. Figura nr. 21.10 şi 21.12.

Pentru a elimina efectul unei tensiuni de reacţie de la anod la grilă se neutralizează cu o tensiune de aceeaşi mărime, dar în opoziţie de fază. Oscilaţiile parazite în UUS se elimină prin înserarea unor şocuri de RF în circuitele electrozilor tubului electronic.

8. $P = 2000 \text{ V} \cdot 0{,}45 \text{ A} = 900 \text{ W}$

Puterea disipată $P_d = 900 - 600 = 300$ W

Randamentul $\eta = \dfrac{600 \text{ W}}{900 \text{ W}} = 0{,}67 = 67\%$

9. $P = 200$ W

Puterea disipată pe anod	50 W
Randamentul	75 %
Impedanţa de ieşire	5 kΩ
Raportul capacităţilor	$C_2/C_1 = 10$

Test recapitulativ

1. Care este banda de frecvenţe a unui emiţător modulat în amplitudine cu purtătoarea de 3,7 MHz modulat în AF cu frecvenţele 300—3000 Hz.

2. De cine depinde lăţimea de bandă a unui emiţător MF?

3. Care dintre următoarele frecvenţe nu este indicată pentru un emiţător MF care lucrează în banda de 144 MHz?

a. 8 MHz c. 10 MHz
b. 9 MHz d. 12 MHz

4. Planul de frecvenţe al unui emiţător MF este: 16-48-144.

Care este deviaţia maximă de frecvenţă a emiţătorului dacă oscilatorul lucrează cu o deviaţie de 300 Hz?

5. Desenaţi schema unui oscilator Hartley EC.
6. Desenaţi schema unui oscilator Colpitts BC.
7. Care este clasa de funcţionare cu a unui amplificator final cu cel mai mare randament?
8. Un amplificator final lucrează cu o tensiune anodică de 800 V. şi un circuit anodic de 250 mA. Care este puterea de ieşire a emiţătorului dacă randamentul este 50%?

Răspunsuri

1. În afara frecvenţei purtătoare şi a benzilor laterale mai apar şi produse de modulaţie egale cu suma şi diferenţa dintre purtătoare şi frecvenţele modulatoare.
2. Lăţimea de bandă a unui emiţător MF depinde de intensitatea sunetului şi de frecvenţa cea mai înaltă a acestuia.
3. c. 10 MHz nu este un divizor al numărului 144.
4. 144 : 16 = 9; Deviaţia $f = 9 \cdot 0{,}3$ kHz = 2,7 kHz
5. Vezi fig. 20.5
6. Vezi fig. 20.6
7. În clasă C curentul anodic mediu este cel mai mic.
8. $P = 800\ V \cdot 0{,}25\ A = 200\ W$
   $P = \eta \cdot P = 0{,}5 \cdot 200 = 100\ W$

Capitolul 22

Detecția

Pentru a înțelege cum funcționează un radioemițător a trebuit să explicăm procedeele de modulație, principiile radioemisiei și etajele radioemițătoarelor. De data aceasta, pentru a înțelege cum funcționează un radioreceptor va trebui să explicăm detecția semnalelor modulate, principiile radiorecepției, după care să trecem la schemele radioreceptoarelor.

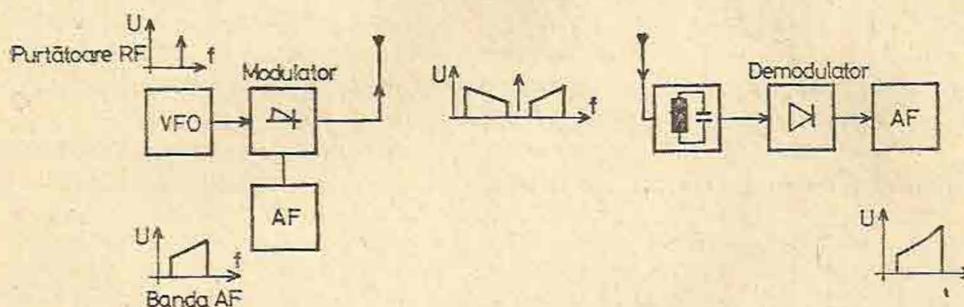


Fig. 22.1. Lanțul de radiocomunicație

La emisia informația conținută în semnalul audio este transpusă prin modulație în domeniul frecvențelor radio pentru a fi radiată prin antenă în eter. Din acest semnal trebuie extras la recepție semnalul original audio. Acest procedeu este numit detecție sau demodulare, iar dispozitivul care realizează această funcție se numește demodulator sau detector. Detectorul deține una din funcțiile de bază într-un receptor.

22.1. Detecția semnalelor MA

După cum ne amintim din capitolul despre modulație, semnalul de radiofrecvență modulat în amplitudine are amplitudinea proporțională cu semnalul modulator de audiofrecvență. Variația acesteia descrie înfășurătoarea care conține informația transmisă. Pentru detecție se folosește un dispozitiv neliniar, de regulă cu diode (fig.22.2). Dioda lasă să treacă curentul într-un singur sens și la ieșire se obține un semnal de radiofrecvență asi-

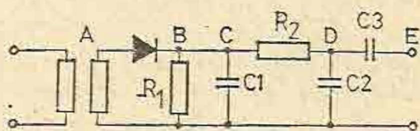


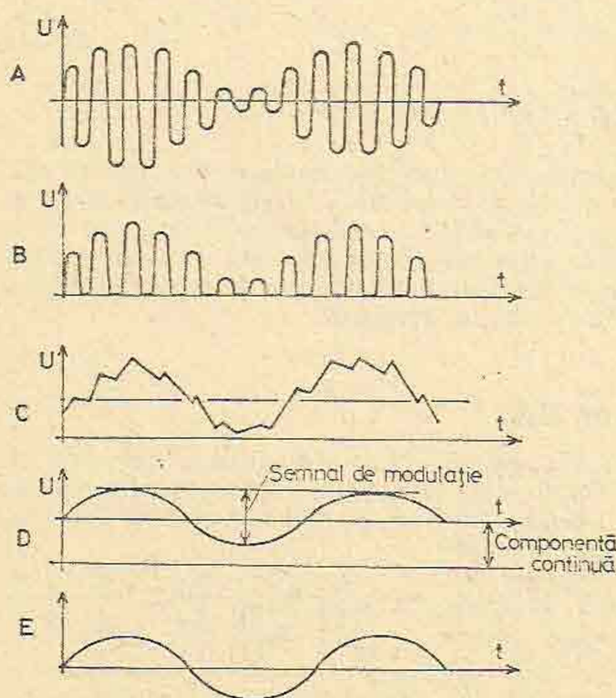
Fig. 22.2. Schema unui detector MA

metric ce conține numai o înfășurătoare. Componenta de radiofrecvență nu este necesară și se elimină prin montarea unui condensator care se încarcă la o tensiune proporțională cu tensiunea înfășurătoarei, rămînînd încărcat fără să mai urmărească variațiile semnalului RF.

În figura 22.3 sînt înfățișate formele de semnal în punctele indicate pe scheme de principiu a detectorului în punctul A semnalul se mai află în forma în care a fost recepționat. După diodă, în punctul B semnalul este detectat. Acest semnal încarcă condensatorul C_1 la valorile de vîrf ale impulsurilor și se descarcă întrucîtva pe rezistența R_1. Semnalul din punctul C începe să semene cu semnalul audio modulator. Dacă nu ar fi montată rezistența R_1 condensatorul C_1 ar rămîne încărcat mai mult timp și la ieșirea detectorului nu am mai obține semnal audio.

Așa cum se prezintă semnalul în punctul C alături de semnalul audio apar și o serie de componente nedorite precum componenta continuă și o serie de componente de radiofrecvență. Pentru eliminarea acestora se montează grupul R_2C_2 și dispar componentele de RF, iar în punctul D avem reprodusă forma semnalului de audiofrecvență cu o componentă continuă. Din acest punct se extrage un semnal continuu pentru reglajul automat al amplificării (RAA) etajelor de frecvență intermediară (vezi cap. 24). În sfîrșit condensatorul C_3 elimină și componenta continuă în punctul E, obținîndu-se semnalul pur de audiofrecvență.

Dacă înaintea detectorului conectăm un circuit oscilant și o antenă, montajul obținut este cel mai simplu radioreceptor, receptorul detector.



22.3. Diagrama de semnal a procesului de demodulare MA

În figura 22.4 prezentăm un astfel de receptor care poate fi ușor realizat. În apropierea unui emițător pe unde medii sau cu o antenă bună se poate realiza o recepție mulțumitoare într-o cască cu rezistență mare. Bobina L_1 se realizează pe un miez de ferită cu diametrul 8—10 mm pe care se bobinează 45 spire. (Conductor Cu-Em cu ⌀ 0,15 mm cu prize la 15 și 30 spire) Bobina L_2 se bobinează pe un manșon de hîrtie pe același miez de ferită și are 60 spire cu prize la 30 și 45 spire. Prin apropierea și depărtarea acestor bobine se caută cuplajul optim.

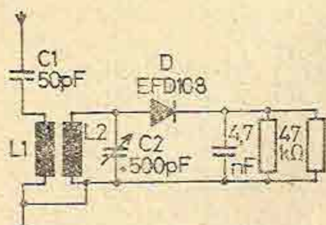


Fig. 22.4. Detector MA cu circuit acordat

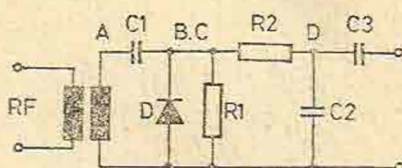


Fig. 22.5. Detector MA cu diodă în paralel

Detectorul prezentat mai sus se numește detector serie după modul de conectare al diodei care lasă să treacă semiperioadele pozitive ale semnalului, în timp ce pe cele negative le blochează.

Dacă în locul diodei montăm condensatorul, iar dioda o montăm în paralel cu bobina, obținem detectorul paralel. Acum sînt blocate semiperioadele pozitive și trec cele negative. Cît timp dioda este deschisă, condensatorul se descarcă prin rezistențe R_1. În fond se obține același rezultat cu deosebire că la detectorul paralel impedanța de intrare este mai mică, ceea ce restrînge aria de utilizare.

Detectorul cu reacție

Considerăm un amplificator RF și procedăm la fel ca la oscilatoare, introducînd în fază la intrare o parte din semnalul amplificat astfel ca să nu fie îndeplinită condiția de oscilație a lui Barkhausen $\beta A = 1$. Efectul este dublu. Pierderile din circuitul oscilant vor fi compensate, iar factorul său de calitate se va îmbunătăți. Ca urmare banda de trecere se va îngusta și vom obține o selectivitate mai bună. Pe de altă parte amplitudinea semnalului util va crește atît de mult încît joncțiunea bază-emitor a unui tranzistor va lucra în regim neliniar și va îndeplini funcție de detector.

Dacă punctul de funcționare al unui tranzistor este situat în zona neliniară a caracteristicii de comandă, semiperioadele pozitive vor fi amplificate foarte mult, iar cele negative deloc. Deci la apariția semnalului, joncțiunea bază-emitor îl redresează și tensiunea continuă rezultată mută punctul de funcționare al tranzistorului în porțiunea liniară a caracteristicii (porțiunea AB). Deci reglînd reacția vom avea o creștere a semnalului util.

Dacă la circuitul oscilant de la intrare vom cupla antena și la ieșire — o cască de impedanță mare, vom obține un receptor radio foarte sensibil. Aces-

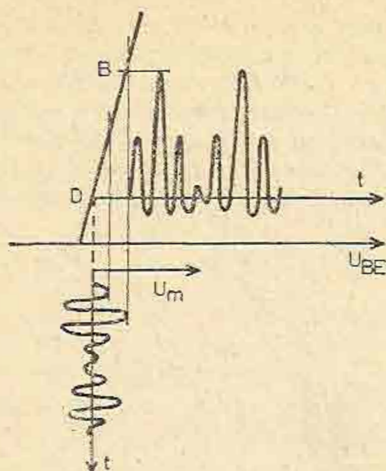


Fig. 22.6. Diagrama de semnal a detectorului cu reacție

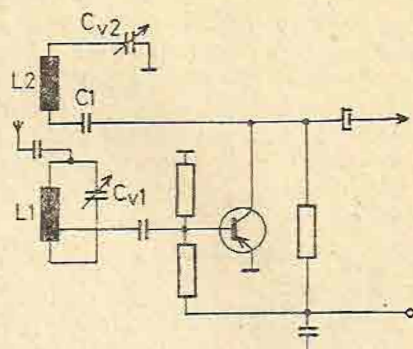


Fig. 22.7. Detector cu reacție

te este receptorul cu reacție care la începuturile radiofoniei era foarte folosit. El se mai numea și 0—v—0, ceea ce însemna că avea un detector (v) și nu avea amplificator RF, nici amplificator AF. Un 1—v—2 avea prin urmare un amplificator de RF, un detector și două etaje de amplificare audio.

Un astfel de radioreceptor se bazează, de fapt, pe una din schemele clasice de oscilator. Examinînd schema din fig. 22.7, observăm că se aseamănă cu schema oscilatorului cu cuplaj inductiv. Particularitatea constă în faptul că reacția se reglează cu ajutorul condensatorului variabil C_{v1}. Alăturat mai dăm și schema unui astfel de detector, echipat cu un tranzistor cu efect de cîmp. Aici acordul se obține cu circuitul oscilant L_2C_{v1} iar reacția este realizată prin cuplajul inductiv dintre bobina L_1 din circuitul de poartă și L_r din circuitul de drenă.

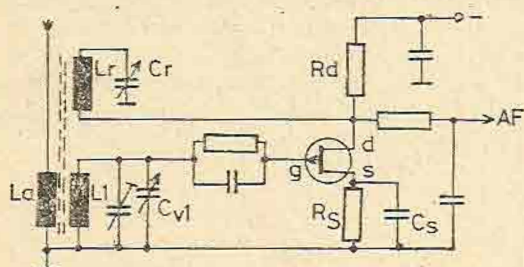


Fig. 22.8. Detector cu reacție echipat cu FET

22.2. Demodularea semnalelor MA cu purtătoare suprimată

Detecția semnalelor MA cu purtătoare suprimată și bandă laterală unică nu este posibilă cu detectoarele prezentate pînă acum. După detecție semnalul ar apare puternic distorsionat, de-adreptul de neînțeles. În acest gen de modulație este suprimată purtătoarea și se emite numai o singură bandă laterală. Distorsunile apărute în cazul utilizării unui detector obișnuit nu se datorează lipsei celeilalte benzi laterale, ci lipsei purtătoarei. De aceea

este necesară refacerea purtătoarei în receptor. De fapt se reface un semnal asemănător celui modulat în amplitudine cu două benzi laterale.

În principiu la receptor este generată purtătoarea cu ajutorul unui oscilator suplimentar (BFO— Beat Frecvency Oscilator) și apoi adiționată la semnalul modulat. Frecvența dată de BFO trebuie sincronizată foarte bine cu purtătoarea redusă care servește ca referință.

BFO poate fi folosit în același receptor pentru recepția semnalelor telegrafice. Oscilatorul auxiliar se acordă cu 1 kHz mai sus decît purtătoarea semnalului telegrafic, se amestecă pe dioda demodulatorului și la ieșirea acestuia apar suma și diferența acestor frecvențe. Diferența fiind 1 kHz se va auzi un sunet întrerupt în ritmul codului Morse.

Receptoarele simple folosesc numai un detector AM combinat cu un BFO. Semnalul dat de BFO se cuplează cu un condensator de valoare mică la dioda demodulatorului AM.

Din păcate reglajul frecvenței și mai ales amplitudinea sînt foarte critice. Amplitudinea semnalului dat de BFO trebuie să fie mai mare decît a semnalului recepționat.

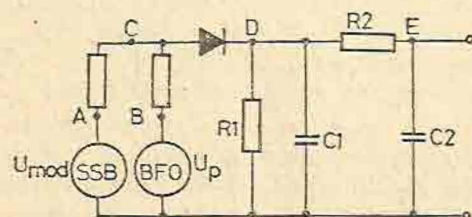


Fig. 22.9. Adiționarea purtătoarei la un semnal SSB recepționat

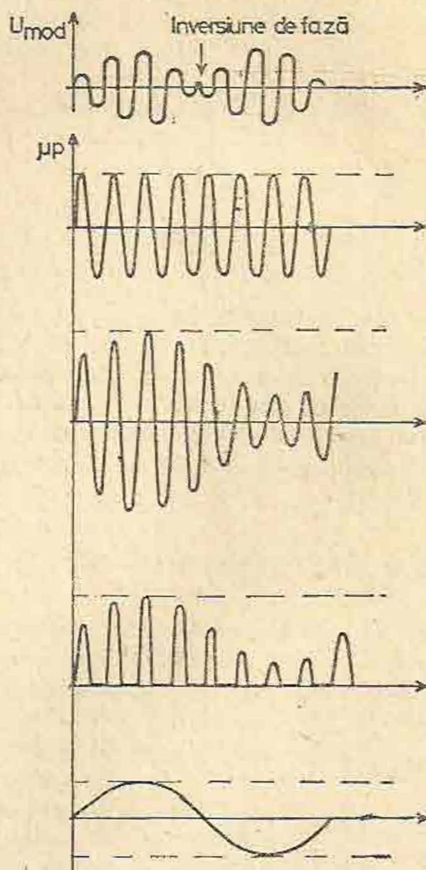


Fig. 22.10. Procesul de demodulare al semnalului MA cu purtătoare suprimată;

22.3. Detectorul de produs

Detectorul de produs este destinat demodulării semnalelor MA cu bandă laterală unică (BLU sau SSB — Single Side Band)

Banda laterală transmisă conține toate datele necesare refacerii semnalului de audiofrecvență inițial, adică frecvența și amplitudinea.

Să presupunem că semnalul BLU are purtătoarea suprimată de 9 kHz la care s-a adăugat semnalul de AF de 1 kHz. În detectorul de produs se

mixează acest semnal cu frecvența purtătoare dată de BFO. La ieșire rezultă suma și diferența acestor semnale: 18 000 și 1kHz. Un filtru trece jos lasă să treacă numai frecvența audio (1kHz)

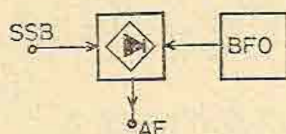


Fig. 22.11. Schema bloc a unui detector de produs

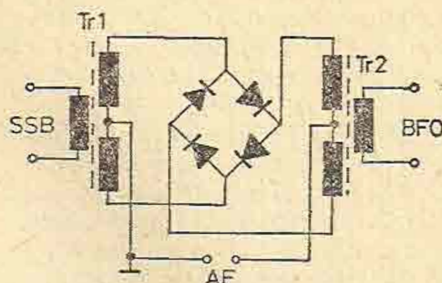


Fig. 22.12. Detector de produs

Un astfel de detector este modulatorul echilibrat descris la capitolul despre modulație. În fig. 22. 12 este dată schema unui demodulator în inel. Într-o diagonală a punții cu diode este introdus semnalul BLU, iar în cealaltă diagonală purtătoarea de la BFO. Cele două semnale se aplică prin cîte un transformator simetric. Pe prizele mediane ale celor două transformatoare se culege semnalul de joasă frecvență.

22.4. Detecția semnalelor MF

Datorită caracteristicilor semnalelor modulate în frecvență detecția lor se face cu totul diferit față de detecția semnalelor MA. În esență variațiile de frecvență trebuie transformate în variații de amplitudine, iar apoi semnalul astfel obținut poate fi detectat în mod obișnuit.

Detecția MF se bazează pe transformarea frecvență-amplitudine.

Un alt procedeu transformă variațiile de frecvență în variații de defazaj între două tensiuni. Semnalul rezultat se detectează într-un schimbător de frecvență la care se obțin bătăi între cele două tensiuni.

Odată cu apariția circuitelor integrate s-a răspîndit și procedeul de demodulare prin utilizarea dispozitivelor de numărare.

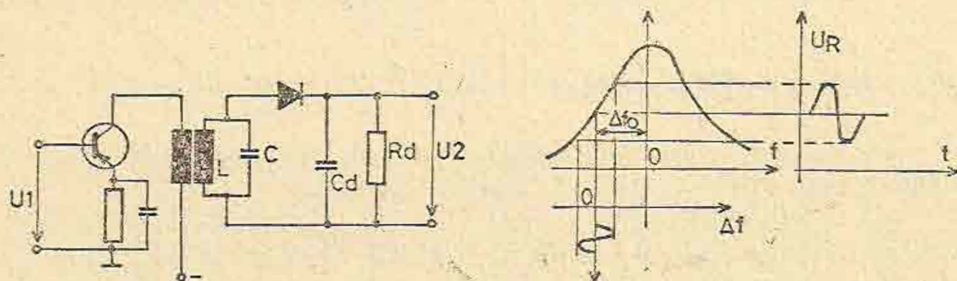


Fig. 22.13. Discriminator cu circuit dezacordat;

Pentru a înțelege bine detecția semnalelor MF vom descrie funcționarea discriminatorului cu un circuit dezacordat. El se aseamănă cu detectorul serie cu deosebirea că circuitul oscilant de intrare este dezacordat față de frecvența centrală (frecvența intermediară a receptorului despre care vom vorbi în capitolul următor). Dezacordul circuitului oscilant trebuie ales astfel încît frecvența semnalului să se plaseze la mijlocul unei ramuri liniare a curbei de rezonanță. Dacă frecvența instantanee este f_0, la ieșire vom avea tensiunea U_2. Variațiile frecvenței, Δf, în plus sau în minus vor avea ca efect variații ale tensiunii, ΔU, în aceleași sensuri. Deci variațiile de frecvență apar la ieșirea circuitului rezonant ca variații de amplitudine ale unei tensiuni.

Un astfel de discriminator nu se mai folosește datorită acordului foarte critic al frecvenței. În plus caracteristica de rezonanță nu este foarte liniară în porțiunea aleasă și apar distorsiuni. Acest discriminator precum și altele răspund și la variațiile de amplitudine nedorite ale semnalului modulat în frecvență. Aceasta impun existența unui limitator de amplitudine.

În cele mai multe radioreceptoare, discriminatoarele cu circuit oscilant dezacordat au fost înlocuite cu un detector de raport care realizează și limitarea de amplitudine. În schema 22. 14. diodele sînt conectate în serie cu circuitul oscilant secundar și cu grupul de detecție. Semnalul care apare la ieșirea amplificatorului de frecvență intermediară este aplicat prin inducție în circuitul oscilant și prin injecție directă cu ajutorul unui condensator. Rezultă două tensiuni care se aplică pe cele două diode. Prin diodele $D1$ și $D2$ circulă curenți de același sens care dau căderile de tensiune U_{R1} și U_{R2}. Semnalul de ieșire se extrage din punctele a și b, unde este și limitat. Căderile de tensiune U_{R1} și U_{R2} se modifică în ritmul modulației de frecvență, iar pe condensatorul C_1 și C_2 se măsoară tensiunile U_{E1} și U_{E2}.

În cursul modulației diferența de potențial între punctele A și B va descrie o curbă de tip S, numită caracteristica de discriminare (fig.22. 15). La bornele rezistențelor R_1 și R_2 se va măsura suma căderilor de tensiune U_{R1} și U_{R2}.

Pe condensatorul C_0 de capacitate mare se măsoară mereu această tensiune care se menține la același nivel datorită constantei de timp foarte mari a grupului $C_0R_1R_2$. Dar, în timp ce suma tensiunilor rămîne constantă, căderile de tensiune se modifică în funcție de deviația de frecvență.

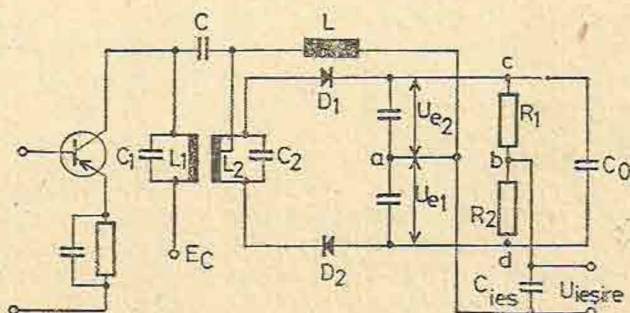


Fig. 22.14. Schema detectorului de raport.

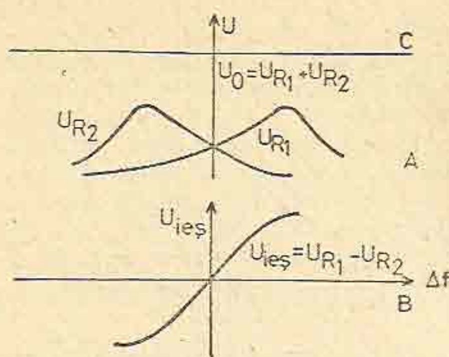


Fig. 22.15. Curbele de variație ale tensiunilor U_{R1}, U_{R2}, și $U_{ieș}$.

Deoarece fenomenul de detecție apare tocmai datorită modificării raportului acestor tensiuni, discriminatorul poartă numele de detector de raport.

Dacă semnalul de intrare în detector este modulat cu o frecvență mai mare decît F_i tensiunea aplicată pe dioda D_1 este mai mare decît cea aplicată pe D_2. Pentru ca în circuit să existe același curent, polarizările celor două diode fac ca punctele de funcționare să fie astfel plasate încît dioda D_1 să fie deschisă un timp mai scurt decît dioda D_2. În timpul modulației punctele de funcționare își schimbă poziția în așa fel încît curenții să compenseze diferențele dintre tensiunile care se aplică diodelor.

Înțelegerea funcționării detectorului de raport este dificilă chiar și dintr-o astfel de descriere succintă și de aceea nu face parte din programa examenului de radioamator.

Capitolul 23

Radioreceptoare. Scheme bloc

Un radioreceptor are rolul de a selecta semnalul dorit dintr-o multitudine de semnale captate de antenă pe care apoi îl demodulează. Aceasta se realizează prin două procedee: amplificare directă și schimbare de frecvență.

23.1. Radioreceptorul cu amplificare directă

Această denumire se datorește faptului că semnalul de radiofrecvență captat de antenă rămîne neschimbat pînă la demodulare. Cele mai simple radioreceptoare au la intrare un circuit selectiv urmat de un detector. Dacă înaintea detectorului se intercalează un amplificator de radiofrecvență la ieșirea radioreceptorului semnalul va fi mai puternic

Inconvenientul acestui receptor este faptul că la o schimbare a frecvenței de recepție este nevoie ca ambele circuite oscilante să fie acordate pe aceeași frecvență. Dacă am avea numai un singur circuit acordat, selectivitatea receptorului ar fi foarte slabă.

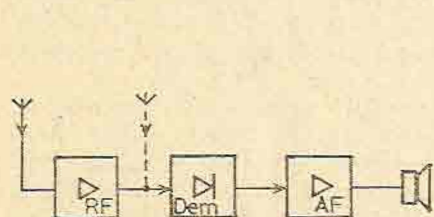


Fig. 23.1. Schema bloc a unui receptor cu amplificare directă.

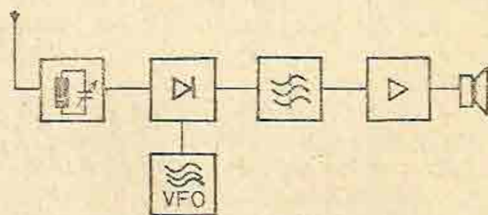


Fig. 23.2. Schema bloc a unui receptor cu conversie directă

Printre radioreceptoarele cu amplificare directă se află și receptorul cu reacție. Acesta a fost unul dintre cele mai răspîndite receptoare din vremea primelor emisiuni de radiodifuziune. Amplificatorul de radiofrecvență era adus cu ajutorul reacției pozitive pînă aproape de pragul de autooscilație, realizîndu-se astfel o creștere a sensibilității și selectivității radioreceptorului. În timpurile noastre el a rămas un receptor „de școală" pentru radioamatorii începători.

Un alt receptor cu amplificare directă este receptorul cu conversie directă care este destinat numai radioamatorilor, fiind foarte indicat pentru recepția semnalelor BLU. Semnalul de radiofrecvență este translatat direct în audiofrecvență fără a mai trece printr-o frecvență intermediară.

În cele ce urmează vom prezenta cîteva scheme practice de receptoare cu amplificare directă.

Primul montaj este un receptor cu reacție cu un singur tranzistor. O parte din tensiunea de ieșire de pe colector este reintrodusă în circuitul de intrare prin cuplajul inductiv dintre bobinele L_1 și L_2. Bobina L_1 are 80 de spire din sîrmă Cu Em ⌀ 0,15—0,2 mm cu priză la spira a cincea de la capătul rece. L_2 are 1—5 spire din aceeași sîrmă. Numărul spirelor acestei bobine se stabilește experimental, căutîndu-se audiția maximă. Cele două bobine se înfășoară pe manșoane de hîrtie dispuse la circa 30 mm una de alta, pe o bară de ferită utilizată la radioreceptoarele Cora.

Fig. 23.3. Receptor cu reacție

Fig. 23.4. Receptor cu superreacție

Un alt receptor simplu este receptorul cu superreacție. Aici, spre deosebire de receptorul precedent gradul de reacție este mai mare decît cel critic care determină autooscilația. Amplificarea unui astfel de receptor atinge valori de ordinul sutelor de mii. Acest receptor este destinat mai ales pentru unde ultrascurte.

Tranzistorul din schemă lucrează în regim de amplificare. Circuitul de reacție este realizat de condensatorul C_6 dispus între colector și emitor. Același tranzistor asigură și demodularea semnalului de radiofrecvență. La ieșirea filtrului trece jos C_8 P_5 C_9 și se obține semnalul audio. Potențiometrul R_3 modifică regimul de lucru al tranzistorului care generează pe lîngă oscilațiile de radiofrecvență (frecvență reglată de condensatorul variabil C_4) și un alt semnal cu frecvență mai redusă (40—100 kHz).

Tranzistorul utilizat poate fi BF 200 sau BC 108. L_1 are două spire Cu Em ⌀ 1 mm, bobinate în aer și avînd un diametru de 10 mm și o lungime asemănătoare. Priza se face la două treimi de spiră L_2 are 10 spire Cu Em ⌀ 0,2 mm bobinate pe un miez de ferită de 3 mm diametru. Receptorul montat cu grijă pe o plăcuță de cablaj imprimat funcționează de regulă de la prima încercare.

Potențiometrul R_3 se reglează pînă la obținerea fîșîitului caracteristic, independent de poziția condensatorului de acord C_4. Prin apropierea sau depărtarea spirelor bobinei L_1 se centrează banda pe 145 MHz, banda alocată radioamatorilor. În momentul apariției unui semnal din afară, fîșîitul dispare, rămînînd numai semnalul receptat.

23.1.1 Radioreceptoare cu conversie directă (Sincrodina)

În ultima vreme au apărut unele receptoare bazate pe principiul conversiei directe. Acest principiu este cunoscut de mai mult timp, dar realizarea receptoarelor a fost complicată datorită unor imperfecțiuni tehnice ale componentelor electronice.

Receptoarele cu conversie directă sînt destinate recepției telegrafice și a emisiunilor cu bandă laterală unică (BLU).

Să urmărim schema bloc din figura 23.2. Semnalul de radiofrecvență după ce este selectat de circuitul de intrare, este aplicat pe ramura unui detector echilibrat echipat cu diode. Pe cealaltă ramură a detectorului se aplică semnalul de la un oscilator local. La ieșire se culeg semnale sumă și diferență a căror valoare se situează direct în spectrul audio.

Banda de frecvență necesară se filtrează apoi cu ajutorul filtrului trece jos, pentru audiofrecvență. După aceasta semnalul obținut este amplificat numai în audio frecvență.

Detectoarele echilibrate sînt destul de sensibile și nu necesită nivele mari de atac, așa încît de obicei lipsește amplificatorul RF. Din cauză că oscilatorul local lucrează pe o frecvență foarte apropiată de cea a semnalelor recepționate se poate întîmpla ca oscilatorul să radieze în antenă. De aceea este nevoie ca la intrare să avem un amplificator RF care să aibă o amplificare mică într-o bandă de trecere îngustă.

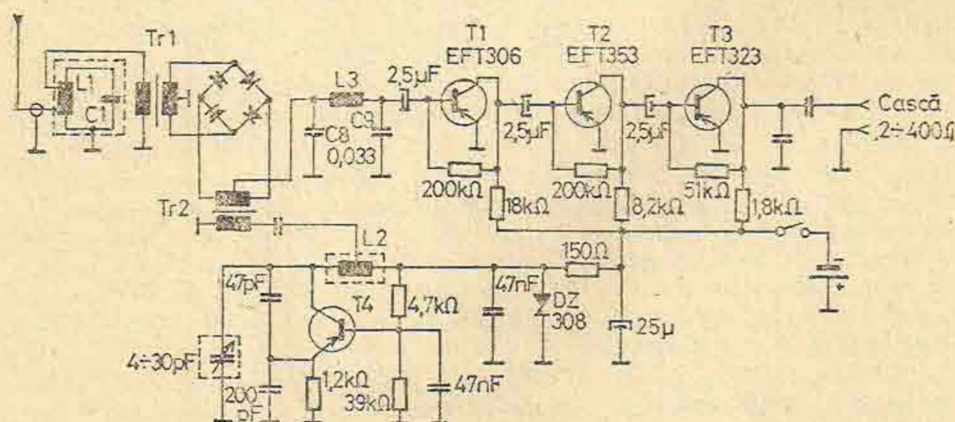


Fig. 23.5. Receptor cu conversie directă

În figura 23.5 prezentăm un exemplu de realizare a unui astfel de receptor pentru banda de 28 MHz propus de radioamatorul YO 3 AG. Circuitul L_1C_1 este acordat pe mijlocul benzii de 28 MHz. Semnalul selectat de circuitul oscilant L_1C_1 este aplicat simetric pe o ramură a detectorului echilibrat în timp ce de la oscilatorul local echipat cu tranzistorul T_4 se aplică pe cealaltă ramură un semnal foarte apropiat ca frecvență. Acordul pe stația recepționată se realizează cu ajutorul condensatorului C_2.

Selectivitatea montajului este determinată de filtrul $L_3C_8C_9$ și este de aproximativ 30 dB pentru un dezacord de 10 kHz

Detalii constructive. Bobinele L_1 și L_2 au cîte 9 spire pe o carcasă de 0,5—0,7 mm. Priza de antenă la bobina L_1 se face la spira 2, iar priza la bobina L_2 în mijloc.

Bobina L_3 este confecționată pe un inel de ferită de 10×6×5 mm cu sîrmă de 0,1 mm și are cca 300 de spire.

Transformatoarele *R*T1 și *R*T2 sînt executate pe inele de ferită de 8×4×2 mm. Numărul de spire este 20 și respectiv 10—10 cu sîrmă de 0,1mm.

Regimul tranzistoarelor amplificatorului se reglează prin alegerea corectă a rezistențelor dintre baza și colectorul tranzistoarelor. Tensiunea pe colectorul tranzistorului T_1 trebuie să fie 1,5—2 V iar pe colectoarele tranzistoarelor T_2 și T_3. — 4,5 V. Prin tatonări se va alege poziția prizei bobinei L_2.

23.2. Radioreceptorul superheterodină

Radioreceptorul superheterodină a fost realizat în anul 1918 de Edwin Armstrong și L. Levy independent unul de altul. Este radioreceptorul cel mai răspîndit în întreaga lume.

Acest receptor funcționează pe principiul schimbării de frecvență prin mixare. Semnalul de radiofrecvență selectat din antenă și apoi amplificat sau nu este introdus într-un mixer care îl translatează în jurul unei frecvențe mai joase numită frecvență intermediară FI. Mai departe semnalul este amplificat foarte mult și trecut printr-un filtru cu o bandă de trecere mai mult sau mai puțin îngustă. Aceasta se realizează în amplificatorul de frecvență intermediară construit să lucreze în jurul frecvenței de 455 kHz.

Deci în mixer, care este un dispozitiv cu caracteristică neliniară, se amestecă semnalul de radiofrecvență captat din antenă cu semnalul generat de un ocsilator local VFO (Variable Frequency Oscillator) acordat pe o frecvență f_0 întotdeauna la un interval precis față de semnalul din antenă.

Oscilatorul local se acordează simultan cu circuitul de intrare prin rotirea unui condensator variabil dublu acționat de același ax. În felul acesta operația de acord este mult mai simplă decît la receptorul cu reacție, iar recepția în sine este mai stabilă.

Principiul de funcționare al mixerului, piesa cheie a receptorului superheterodină, a fost prezentat în capitolul despre modulație.

Ne amintim că la ieșirea mixerului se obține semnalul cu frecvența $f_i = f_s - f_0$. În afara acestei frecvențe — frecvența intermediară — mai apar

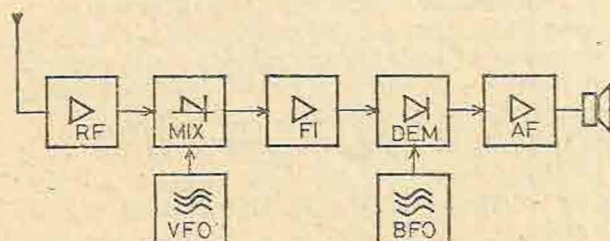


Fig. 23.6. Schema bloc a unui receptor superheterodină

şi alte frecvenţe noi care reprezintă suma şi diferenţa frecvenţei semnalului f_s şi oscilatorului f_0 precum şi armonicile acestora cu sumele şi diferenţele lor.

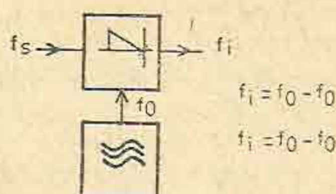


Fig. 23.7. Principiul schimbării de frecvenţă

Trebuie accentuat că aceste armonici, sume sau diferenţe de armonici, sînt produse de mixer şi nicidecum nu există în semnalul captat din antenă. De foarte multe ori se face această confuzie şi din această cauză apar suspiciuni în legătură cu funcţionarea emiţătoarelor radio, care ar da radiaţii parazite prea puternice.

Din tot acest spectru de frecvenţe amplificatorul de frecvenţă intermediară echipat cu unul sau mai multe filtre de bandă selectează spectrul din jurul frecvenţei intermediare cu o lărgime de bandă mai mare sau mai mică.

Să calculăm frecvenţele pe care trebuie acordat oscilatorul local pentru a recepţiona frecvenţele de la capetele benzilor alocat radioamatorilor. Pentru uşurinţa calculelor $f_i = 455$ kHz.

f_s	f_i	f_0
3 600	455	4 055
7 000	455	7 455
14 200	455	14 655
21 300	455	21 755
28 400	455	28 855

$$f_0 - f_s = f_i$$

Dar frecvenţa intermediară poate rezulta şi din scăderea frecvenţei oscilatorului local dintr-o frecvenţă incidentă f_{s2} cu 455 kHz mai mare.

f_{s1}	f_0	f_{s2}	f_i	$f_0 - f_{s1}$ $f_{s2} - f_0$
3 600	4 055	4 510	455	
7 000	7 455	7 910	455	
14 200	14 655	15 110	455	
21 300	21 755	22 210	455	
28 500	28 955	29 410	455	

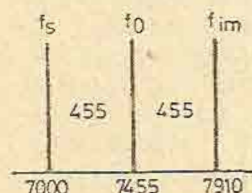


Fig. 23.8. Frecvenţa imaginii

Se observă uşor că f_{s2} diferă cu 2.455 — 910 kHz faţă de frecvenţa de intrare f_{s1}.

Această frecvenţă este situată cu dublul frecvenţei intermediare mai sus decît frecvenţa semnalului recepţionat.

Dacă în banda de 3,5 MHz frecvenţa imagine este relativ departe faţă de frecvenţa de recepţie (950 kHz înseamnă 22% din 3 500), în banda de 28 MHz (a este foarte aproape (950 kHz înseamnă doar 3,2% din 28 500 kHz), iar un simplu filtru de bandă realizează greu separarea, ajungîndu-se la perturbaţii serioase.

În radioreceptoarele recent apărute se utilizează frecvența intermediară mai ridicată, de exemplu 5 500 kHz.

Practic frecvența imagine se calculează cu formula

$$f_{im} = f_s + 2f_i$$

în cazul cînd frecvența oscilatorului local este situată deasupra semnalului recepționat și

$$f_{im} = f_s - 2f_i$$

în cazul cînd frecvența oscilatorului local este situată sub frecvența semnalului recepționat.

Problemă. Să se calculeze și să se completeze următorul tabel cu valorile frecvențelor imagine corespunzătoare capetelor de bandă. Din motive de stabilitate oscilatorul lucrează pe frecvențe mai înalte decît frecvențele din benzile joase și sub frecvențele recepționate în benzile înalte.

f_s	f_0	f_{im}	f_i
3 500	9 000	14 500	5 500
7 000	12 500	......	5 500
14 000	8 500	......	5 500
21 000	15 500	.....	5 500
28 000	22 500	17 00	5 500

Se observă că și în benzile superioare intervalul dintre frecvența recepționată și frecvența imagine este încă foarte mare. În cazul acesta, apare întrebarea: de ce nu se construiesc, de obicei, amplificatoare de frecvență intermediară pe frecvențe înalte? Motivul îl constituie posibilitatea obținerii unei selectivități bune cu mijloace simple la frecvențe joase. Lățimea de bandă depinde de frecvența de rezonanță și de factorul de calitate al circuitului oscilant

$$B = \frac{f_{rez}}{Q}$$

și în benzile de unde medii un factor de calitate de cca 50 este suficient.

Să calculăm lățimile de bandă care se pot obține cu un circuit oscilant cu un $Q = 50$ pe frecvențele intermediare uzuale 455 kHz; 5 500 kHz și 10,7 MHz

$$B_1 = \frac{455}{50} = 9{,}1 \text{ kHz} \quad B_2 = \frac{5\,500}{50} = 110 \text{ kHz}$$

$$B_3 = \frac{10{,}700}{50} = 214 \text{ kHz}$$

Pe unde scurte radioamatorii au nevoie de o bandă de trecere de cca 3 kHz în SSB și 0,4 kHz în telegrafie. La receptoarele comerciale cu o frecvență intermediară de 455 kHz această selectivitate se realizează prin înșiruirea mai multor filtre de bandă. În receptoarele de trafic pentru frecvențe intermediare mai înalte este nevoie de filtre cu cuarț.

23.3. Receptorul cu dublă schimbare de frecvență.

Acest receptor îmbină avantajele celor două receptoare prezentate anterior. Pentru eliminarea frecvenței imagine prima frecvență intermediară este foarte înaltă, iar pentru realizarea unei selectivități foarte bune a doua frecvență intermediară este joasă.

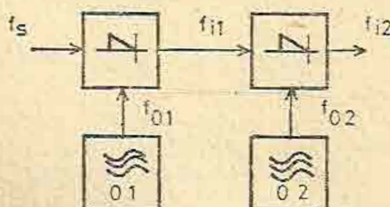


Fig. 23.9. Principiul dublei schimbări de frecvență

Și în cazul acestui receptor există mai multe principii de funcționare. Înainte primul oscilator era un VFO (variable frequency oscillator). Prima frecvență intermediară era în jur de 4 MHz, iar la schimbarea benzii trebuia comutat și oscilatorul. Complicațiile apăreau la frecvențe mai înalte unde era necesară o stabilitate tot atît de bună a frecvenței. Cu un al doilea oscilator, de data aceasta cu cuarț, se făcea cea de a doua schimbare de frecvență la cca 450 kHz.

Problemă: Să se calculeze frecvențele oscilatoarelor unui receptor cu dublă schimbare de frecvență în care prima frecvență intermediară este 4,5 MHz și a doua 465 kHz. Semnalul recepționat are frecvența de 7 MHz. Să se calculeze de asemenea frecvența imagine.

Rezolvare

$f_{01} = 7{,}0 \text{ MHz} + 4{,}5 \text{ MHz} = 11{,}5 \text{ MHz}$

$f_{02} = 4{,}5 \text{ MHz} + 465 \text{ kHz} = 4{,}965 \text{ MHz}$

$F_{im} = 7{,}0 \text{ MHz} + 2 \cdot 4{,}5 \text{ MHz} = 16 \text{ MHz}$

Ulterior au apărut receptoare cu dublă schimbare de frecvență al căror oscilator era echipat cu cuarț. Primul etaj de FI avea o bandă de trecere de 500 kHz în jurul frecvenței centrale de 8 MHz. Al doilea oscilator avea o frecvență ce varia în jur de 5 MHz. La ieșire se obținea o frecvență intermediară constantă, 3 MHz, iar selectivitatea era asigurată de un filtru cu cuarț.

Avantajul acestui receptor constă în utilizarea unui același VFO pentru toate benzile. În acest fel se poate construi un oscilator foarte stabil. Dar dezavantajul apare la cel de-al doilea mixer care trebuie să prelucreze simultan un număr prea mare de semnale printre care pot apare și produsele nedorite de intermodulație.

A treia generație de receptoare cu dublă schimbare de frecvență încearcă să rezolve problema frecvenței imagine prin alegerea unei frecvențe intermediare foarte înalte de 50 și chiar 70 MHz. Acum apare posibilitatea de a alege frecvența pentru VFO mai sus sau mai jos decît prima frecvență intermediară.

Să considerăm că VFO lucrează deasupra primei frecvențe intermediare de 50 MHz și să calculăm limitele între care se situează frecvențele imagine pentru întreg domeniul de unde scurte, 3 — 30 MHz.

$$f_{im} = f_0 + 2\,fi$$
$$f_{im} = 3 + 100 = 103 \text{ MHz}$$
$$f_{im} = 30 + 100 = 130 \text{ MHz}$$

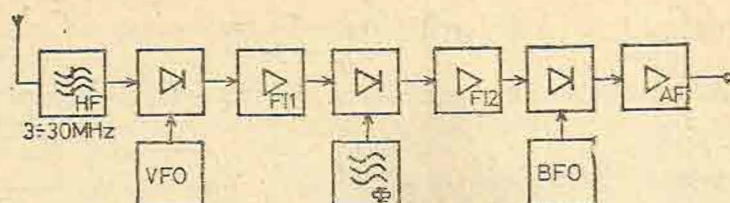


Fig. 23.10. Schema bloc a unui receptor cu dublă schimbare de frecvenţă

Deci limitele sînt 103 şi 130 MHz, mult peste banda de unde ultrascurte alocată radiodifuziunii, 66 — 73 MHz. Oricum aceste frecvenţe sînt peste domeniul de frecvenţe al radioreceptoarelor de trafic şi de aceea este nevoie la intrare de un singur filtru care să asigure trecerea în domeniul 3 — 30 MHz.

Acest radioreceptor de trafic are avantajul unei manipulări foarte comode. Totuşi apar unele probleme în construcţia mixerului deoarece la recepţia semnalelor puternice ale staţiilor de radiodifuziune pot apare intermodulaţii. Dar despre aceasta vom discuta într-un paragraf viitor.

23.4. Radioreceptor de trafic cu buclă PLL

Apariţia oscilatoarelor cu buclă PLL a creat posibilitatea ca receptoarele moderne să lucreze pe o lăţime de bandă de 1 MHz, acordîndu-se foarte precis în paşi de frecvenţă de 100 Hz, chiar 10 Hz.

În principiu este tot un receptor cu dublă schimbare de frecvenţă intermediară este de 70 MHz, iar a doua mult mai jos, 200 kHz. Astfel de receptoare au posibilitatea unui acord în paşi de numai 10 Hz. Pentru înţelegerea modului de funcţionare a unui astfel de receptor, cifrele au fost rotunjite şi schema simplificată.

Un divizor decadic prelucrează semnalul de 10 MHz dat de un oscilator cu cuarţ. La ieşire se obţin 10 Hz, 1 MHz şi 5 MHz. VCO*1* se acordă brut în

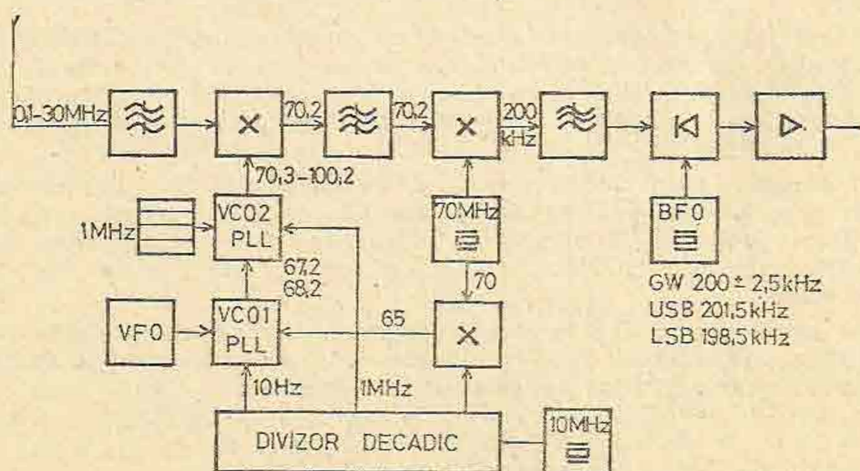


Fig. 23.11. Schema unui receptor de trafic cu buclă PLL.

pași de 10 MHz, iar VCO *2* în pași de 10 Hz. Să presupunem că vom recepționa un semnal de 14 MHz. VCO *2* se acordă pe 70,2 + 14 = 84,2 MHz. Oscilatorul controlat *1* se acordă pe 67,2 MHz, iar VFO *2* va rămîne pe 2,2 MHz.

Dacă vrem să recepționăm, 7,150 MHz; VCO *2* = 77,350; VCO 1 = = 67,350 și VFO = 2,350 MHz.

23.5. Perturbații radio

Fiecare tip de radioreceptor prezintă avantajele și dezavantajele sale. La receptorul cu amplificare directă toate circuitele oscilante lucrează acordate pe frecvențe de recepție. Dacă numai un singur circuit este acordat „alături", amplificarea scade. De aceea toate vor fi acordate foarte exact, ceea ce reprezintă o operație destul de dificilă. Dacă dorim o selectivitate bună este nevoie de un număr mare de astfel de circuite sau de circuite mai puține, dar cu un factor de calitate foarte bun.

Sistemul de receptoare cu reacție folosește reacția pentru creșterea factorului de calitate al circuitului oscilant. Dar acordul pe frecvența recepționată se face mai dificil. Odată cu schimbarea frecvenței se schimbă și raportul L/C în circuitul oscilant și reacția trebuie din nou reglată.

La receptoarele cu amplificare directă mai apare o problemă în legătură cu asigurarea selectivității față de semnalele puternice ale unor stații. Semnalele unor stații situate aproape de frecvențe recepționată pot fi demodulate nedorit și astfel acoperă semnalul urmărit.

Și în cazul receptoarelor superhetero lină apar unele dificultăți care pot duce la perturbațiile recepției. În paragrafele precedente a fost explicată recepția frecvenței imagine. Pentru evitarea apariției acesteia există două moduri de concepere a receptoarelor: alegerea unei frecvențe intermediare foarte înaltă ori îmbunătățirea selectivității circuitelor de intrare prevăzindu-se mai multe circuite acordate ceea ce ridică problema de acord simultan, fiind mai dificilă manipularea aparatului.

Tot la aceste receptoare a căror frecvență de lucru a oscilatorului este menținută la un interval fix față de frecvnețe de recepție apare problema acordului simultan a circuitului de intrare cu oscilatorul.

Acest acord simultan se realiza și se mai realizează încă cu ajutorul unui condensator variabil dublu sau triplu. Cu o secțiune a condensatorului vari-variabil se realizează acordul circuitului de intrare, iar cu cealaltă acodul oscilatorului. Trebuie reținut că intervalul de frecvență dintre oscilator și circuitul de intrare trebuie să rămînă tot timpul constant.

În cazul receptorului cu dublă schimbare de frecvență apare o diferență foarte mare între frecvența de acord a primului oscilator și frecvența circuitului de intrare. Pentru a separa acordul acestor circuite se introduce așa numitul preselector. Cu un buton se acordează frecvența VFO, iar odată cu acordul preselectorului se obține sensibilitatea maximă.

În receptoarele superheterodină se poate întîmpla ca alături de semnalul dorit să apară și un altul care pătrunde în mixer și din combinația cu semnalul dorit, cu o armonică a acestuia sau o armonică a semnalului produs de oscilator să apară la ieșirea mixerului un semnal în banda de trecere a amplificatorului FI. Față de acest semnal util semnalul rezultat va avea un decalaj

de frecvență care după detecție se va auzi ca un fluierat continuu și supărător. În plus audiția semnalului util va fi distorsionată.

În etajul schimbător de frecvență se pot produce frecvențe armonice ale oscilației locale precum și ale semnalelor utile sau perturbatoare. Interferențele pot apare atunci cînd diferența dintre frecvența oscilatorului local sau a unei armonice și frecvența unui semnal util sau nu devine aproximativ egală cu frecvența intermediară.

Dacă amplitudinea semnalului incident este foarte mare un circuit de rejecție montat la intrare și acordat pe frecvența cunoscută îl poate atenua convenabil. Este cazul unor stații locale puternice din apropierea locului de recepție.

O altă soluție este o preselecție pe bandă îngustă care dă posibilitatea eliminării semnalului prea puternic, ceea ce supune însă o operație de acord cam incomodă. Deoarece în banda de 40 m stațiile sînt foarte apropiate ca frecvență și tot aici apar și stații de radiodifuziune puternice, vînătorii de DX-uri conectează la intrarea receptorului un filtru cu cuarț cu banda de trecere între 7000 și 7010 kHz.

Test

1. Ce este o sincrodină?
2. Ce avantaje și dezavantaje are un receptor cu amplificare directă față de un receptor superheterodină?
3. Un radioreceptor are o frecvență intermediară de 2100 kHz. Calculați frecvența imagine dacă receptorul este acordat pe 3600 kHz iar oscilatorul lucrează pe frecvența superioare celor recepționate.
4. Ce avantaje prezintă un receptor cu dublă schimbare de frecvență?
5. Ce se înțelege prin frecvență imagine?
6. Ce se înțelege prin intermodulație?

Răspunsuri

1. Un radioreceptor sincrodină frecvența semnalului recepționat se mixează cu frecvența oscilatorului într-un modulator echilibrat. La ieșirea acestuia rezultă un semnal audio fără a se mai trece printr-o frecvență intermediară.

2. Deoarece nu are un etaj schimbător de frecvență în receptorul cu amplificare directă nu apar frecvențe imagine. De asemenea produsele de intermodulație sînt foarte slabe.

Dezavantajele sînt date de selectivitatea scăzută și de dificultățile de acord simultan al mai multor circuite selective.

3. $f_{im} = f_s + 2f_i$

$$f_{im} = 3600 + 2 \cdot 2100 = 3600 - 4200 = 7800 \text{ kHz}$$

4. Dacă prima frecvență intermediară este înaltă se asigură o bună atenuare față de frecvență imagine. Dacă a doua frecvență intermediară este scăzută, avem posibilitatea obținerii unei bune selectivități.

5. Frecvența imagine este acea frecvență rezultantă din mixer formată prin „oglindirea“ frecvenței semnalului față de frecvența oscilatorului.

6. Dacă la intrarea unui radioreceptor ajung două semnale, unul util și altul perturbator, semnalul util va fi slab modulat și distorsionat cu frecvențele de modulație ale semnalului perturbator.

Capitolul 24

Etajele radioreceptorului

După ce în capitolele precedente ne-am ocupat de procesul de demodulare și de principiile radiorecepției să trecem acum la prezentarea detaliată a etajelor unui radioreceptor. Ne vom referi la receptorul cu dublă schimbare de frecvență, receptor care a dat pînă în prezent cele mai bune rezultate în traficul de radiocomunicații.

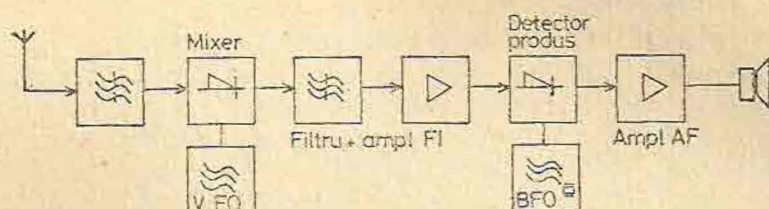


Fig. 24.1. Schema bloc a unui receptor cu dublă schimbare de frecvență pentru SSB.

Schema bloc din figură 24.1. este mult mai simplă decît schema unui receptor cu sintetizare de frecvențe. Etajele sale sînt: circuitul de intrare (preselectorul), mixerele, oscilatoarele, amplificatoarele de FI, demodulatorul, dispozitivul de reglaj automat al amplificării și amplificatorul audio.

24.1. Circuitele de intrare

Circuitele de intrare ale radioreceptoarelor realizează cuplajul la antenă, amplifică semnalul de radiofrecvență pentru îmbunătățirea sensibilității (în cazul existenței unui amplificator RF) și atenuează frecvența imagine.

Cuplajul la antenă. Deoarece antenele radioreceptoarelor sînt în general antene acordate care au o impedanță mică (50—75 Ω) este necesar să se realizeze o adaptare la impedanța de intrare a primului tranzistor. Aceasta se realizează cu un cuplaj prin transformator. Factorul de transformare trebuie să fie astfel ales încît să nu se amortizeze prea mult circuitul oscilant. Pentru antene foarte scurte se alege un cuplaj avantajos, cuplajul capacitiv. Deoarece capacitatea antenei dezacordează circuitul oscilant este necesară o reacordare a circuitului oscilant.

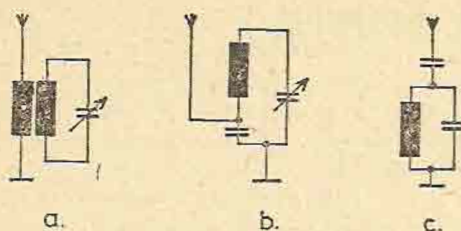


Fig. 24.2. Cuplajul antenei la circuitul de intrare: *a*) cuplaj inductiv; *b*) cuplaj capacitiv cu priză mediană; *c*) cuplaj capacitiv.

Sensibilitatea unui radioreceptor pe unde scurte este dată de tensiunea de intrare care produce la ieșire o intensitate sonoră cu cel puțin 10 dB mai puternică decît zgomotul. De regulă, un mixer produce un zgomot relativ ridicat, zgomot care este amplificat de etajele următoare care este amplificat de etajele următoare. Nivelul lui determină sensibilitatea receptorului. Dacă amplificăm semnalul de intrare înaintea mixerului cu ajutorul unui tub electronic sau a unui tranzistor cu zgomot propriu mic va trebui ca în etajele următoare să realizăm o amplificare de 10 ori mai mică pentru a obține aceeași intensitate sonoră la ieșire. Prin urmare dacă circuitul de intrare amplifică mai mult semnalul util și nu produce zgomot, sensibilitatea receptorului se îmbunătățește.

REȚINEM *deci: Circuitele de intrare determină sensibilitatea.*

Totuși această amplificare a circuitului de intrare nu trebuie să fie prea mare deoarece în cazul unor semnale puternice apar în mixer intermodulații. De aceea este nevoie de un reglaj al amplificării circuitului de intrare. În acest scop se extrage din demodulator sau din alt circuit o tensiune continuă, care este proporțională cu amplitudinea semnalului de la intrare. Această tensiune este aplicată în circuitul de intrare în sensul de reducere a amplificării.

Atenuarea frecvenței imagine. După cum am amintit, această problemă apare la receptoarele cu schimbare de frecvență. Cu cit circuitul de intrare (banda îngustă) este mai selectiv cu atît frecvența imagine este mai atenuată și astfel trece numai frecvența semnalului util. Dar în acest caz este necesar ca circuitul de intrare să fie precis acordat. Acest neajuns se rezolvă alegînd o frecvență intermediară înaltă și atunci este suficient un filtru de bandă destul de bun pentru că frecvența imagine este destul de depărtată.

În figura 24.3 este prezentat un circuit de intrare cu TEC care lucrează în benzile de unde scurte. Semnalul din antenă trece prin transformatorul de radiofrecvență și apoi printr-un filtru de bandă 3—30 MHz, după care este introdus într-un amplificator de bandă îngustă. Acesta este acordat pe frec-

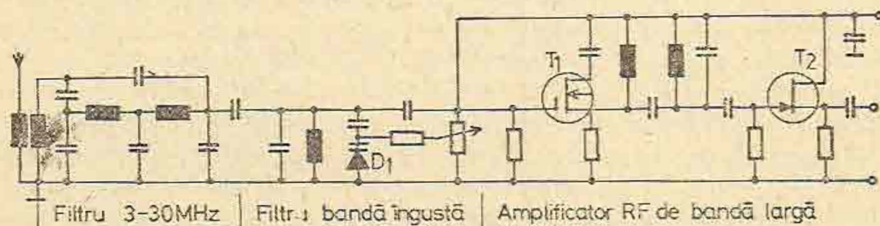


Fig. 24.3. Preamplificator de radiofrecvență cu TEC.

venţa dorită cu ajutorul unei tensiuni reglabile care comandă o diodă varicap D_1.

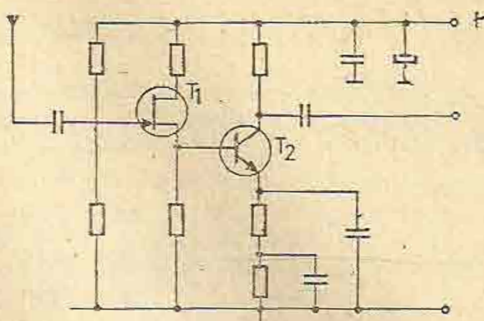


Fig. 24.4. Amplificator RF de bandă largă

Preamplificarea este realizată de tranzistorul cu efect de cîmp T_1 care are la ieşire un filtru de bandă. Tranzistorul T_2 are rolul de transformator de impedanţă.

În figura 24.4 este dată schema unui amplificator RF de bandă largă pentru receptoare cu antenă scurtă (mai puţin de 1 m). Tranzistorul T_1 este un TEC în circuit de drenă care lucrează ca transformator de impedanţă. Al doilea este un tranzistor bipolar care lucrează ca amplificator de bandă largă. Acesta este un amplificator aperiodic deoarece nu conţine circuite acordate şi nici filtre de bandă.

24.2. Mixerul

Modul de funcţionare şi schemele uzuale au fost prezentate în capitolul despre modulaţie şi de asemenea la prezentarea receptoarelor superheterodină.

Vom reaminti numai că există două principii de mixare. La mixarea aditivă tensiunea de intrare şi tensiunea de la oscilatorul local sînt mai întîi translatate şi abia după aceea deformate de un dispozitiv neliniar. Astfel apar ca şi în modulator frecvenţe noi printre care suma şi difrenţa acestor frecvenţe. Circuitul oscilant de la ieşirea mixerului lasă să treacă una din cele două frecvenţe care este de obicei frecvenţa diferenţă, frecvenţa intermediară. Dacă semnalul recepţionat este modulat şi semnalul de frecvenţă intermediară conţine această modulaţie.

Pentru mixarea multiplicativă se utilizează componente electronice cu mai multe intrări de comandă, ca de exemplu o heptodă. Semnalul recepţionat din antenă f_a se aplică pe grila 1 de comandă, iar semnalul de la oscilator f_0 pe grila a treia. Variaţiile acestor tensiuni influenţează curentul anodic al heptodei. Caracteristica de comandă a tubului este foarte abruptă şi astfel apare şi un cîştig de conversie. Din păcate se amplifică şi zgomotul, ceea ce face ca acest mixer să se folosească mai ales în domeniul undelor medii.

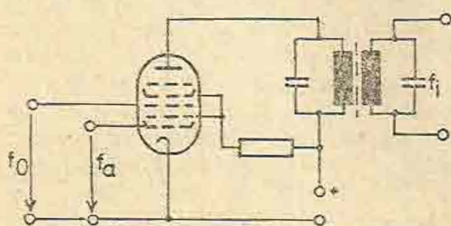


Fig. 24.5. Schema unui mixer multiplicativ.

O mixare multiplicativă se realizează şi în mixerele în inel asemănătoare ca funcţie de transfer modulatoarelor în inel cum sunt în capitolul despre „Modulaţie". În circuitele integrate moderne aceste dispozitive sînt realizate cu tranzistoare ceea ce determină o amplificare a semnalului util.

24.3. Amplificatorul de frecvență intermediară

Amplificatorul de frecvență intermediară are rolul de a amplifica semnalul de la ieșirea mixerului la amplitudinea cerută de etajul demodulator. De asemenea el asigură selectivitatea receptorului.

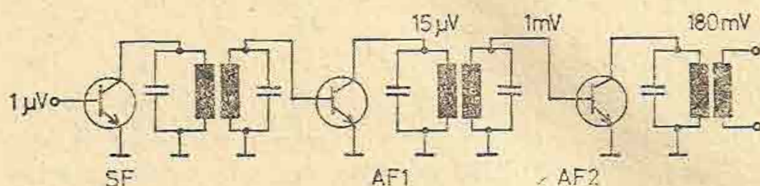


Fig. 24.6. Schema simplificată a unui amplificator de FI

Amplificatorul de frecvență intermediară determină selectivitatea receptorului.

Deoarece lucrează pe frecvențe relativ joase un astfel de amplificator poate avea un factor de amplificare mare. Se cere ca acest amplificator să funcționeze cît mai liniar deoarece prin aceasta determină și fidelitatea receptorului.

De regulă amplificatorul FI este realizat din două-trei etaje echipate cu circuite selective (circuite LC, filtre ceramice, magnetostrictive) și dispozitive active (tuburi electronice sau tranzistoare).

În figura 24.5 dăm schema unui amplificator FI uzual. Circuitele oscilante sînt acordate în jurul frecvenței intermediare. Pentru a se obține o rezistență de sarcină optimă, impedanța de ieșire a tranzistorului și impedanța de intrare a etajului următor se adaptează prin următoarele metode: priză la bobină, cuplaj capacitiv sau cuplaj prin transformator (inductiv). Realizarea acestor circuite și reglajul lor este destul de dificilă. Pentru simplificarea realizării reglajului și îmbunătățirea calității acestor amplificatoare s-au realizat filtre ceramice. Pe baza efectului piezoelectric oscilațiile electrice se transformă în oscilații mecanice și din nou în oscilații electrice. Un filtru ceramic este constituit din două rezonatoare cuplate care au formă de H. Un astfel de filtru nu are elemente de reglaj și este foarte stabil ceea ce face să fie foarte comod, dar costisitor. În figura 24.8 este dată schema unui etaj FI echipat cu două filtre ceramice de tip SPF 455-9 fabricate în RD Germană. În cazul, utilizării unui astfel de filtru este necesară o amplificare de cca 1000 de ori, dar în ultima vreme aceasta se realizează destul de simplu cu circuite integrate. Amplificatorul FI este destinat semnalelor modulate în frecvență și este echipat cu circuitul integrat µA 753. Filtrele ceramice *FC* 1 și *FC* 2 sînt acordate pe frecvența 10,7 MHz

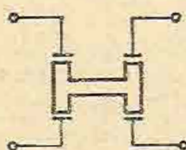


Fig. 24.7. Filtru ceramic.

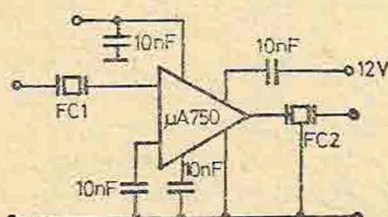


Fig. 24.8. Amplificator de FI cu două filtre ceramice acordate pe 10,7 MHz.

24.4. Reglajul automat al amplificării (RAA)

În multe situații semnalele de intrare provenite de la unele stații abia ating 1 μV, iar altele trec de 100 mV. Ele trebuie recepționate fără distorsiuni și la un nivel aproape egal.

Pentru a obține aceeași intensitate sonoră, receptorul trebuie să prezinte o amplificare foarte mică pentru semnale puternice și o amplificare mare pentru semnale slabe. În acest scop este necesar un reglaj automat al amplificării (RAA) sau un control automat al amplificării (CAA). Cele două prescurtări sînt uzuale și denumesc aceeași funcție.



Fig. 24.9. Principiul reglajului automat al amplificării (RAA).

Principiul reglajului automat al amplificării constă în faptul că din amplitudinea semnalului recepționat se extrage o tensiune cu care se reglează amplificarea etajului de radiofrecvență a amplificatorului FI și preamplificatorului final.

Tensiunea de reglaj se extrage din detector. În funcție de felul cum se introduce această tensiune înapoi în etajul de RF sau înainte în amplificatorul AF, vorbim despre reglaj înapoi sau înainte.

În reglajul înapoi rămîne în urmă o plajă de reglaj care nu compensează diferențele de intensitate a cîmpului radioelectric al semnalului recepționat. Reglajul înainte poate compensa total aceste diferențe. În general se folosesc ambele reglaje.

În cazul modulației de amplitudine se poate extrage o tensiune continuă din valoarea medie a tensiunii semnalului deoarece valoarea medie rămîne neschimbată cu și fără modulație.

La ieșirea unui detector MA tensiunea continuă trebuie separată de componentele AF și utilizată ca tensiune RAA. După diodă se conectează celula R_2C_2 cu o constantă de timp de 0,2 secunde care atacă poarta unui TEC sau baza unui tranzistor bipolar din circuitul de intrare al receptorului. Polarizarea diodei trebuie astfel aleasă incit la creșterea tensiunii, amplificarea să scadă. În montajele cu tuburi electronice această tensiune trebuie să fie negativă, dar pentru tranzistoare negativă sau pozitivă după caz.

Reglajul automat al amplificării este mai dificil de obținut în cazul recepției semnalelor telegrafice sau BLU deoarece pentru scurt timp la intrare nu avem mici un semnal. În acest scop trebuie să mărim foarte mult constanta de timp a circuitului R_2V, ceea ce prezintă

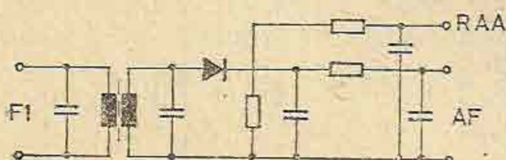


Fig. 24.10. Extragerea tensiunii de RAA.

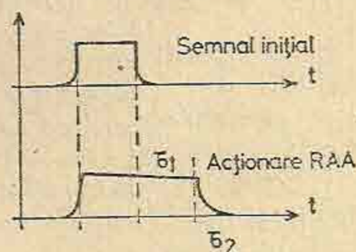


Fig. 24.11. Diagrama de acțiune a RAA în cazul unui receptor SSB

dezavantajul că *la apariția unei emisiuni mai slabe* receptorul se blochează pentru cîteva secunde. Se vor introduce două constante de timp. După atingerea semnalului constanta cea mare menține această amplificare constantă. După cca. o secundă condensatorul de reglaj se descarcă rapid cu timpul și receptorul rămîne pe recepție.

24.5. Amplificatorul audio

Amplificatorul de joasă frecvență are rolul să ridice la nivelul cerut de un difuzor sau cel puțin de o cască semnalul de audiofrecvență obținut la ieșirea demodulatorului.

Schemele acestor amplificatoare au fost prezentate în capitolul despre tranzistor. De aceea aici vom aminti numai cerințele impuse unui astfel de amplificator utilizat în receptoarele radioamatorilor.

Ssubliniem că un amplificator audio trebuie să cuprindă un preamplificator și un amplificator final. Preamplificatorul amplifică tensiunile mici la nivelul necesar atacului amplificatorului final. Preamplificatorul lucrează cu puteri mici, iar curenții de colector sînt între 0,5 și 2 mA. Prefinalul lucrează cu curenți între 10 și 100 mA, iar amplificatoarele finale de la 100 mA pînă la cîțiva amperi. Dar asemenea puteri sînt necesare sonorizării unor mari încăperi. În radioamatorism sînt suficiente puteri între 200 mW pînă la 2 W. Dacă tensiunea de lucru este 12 V și curentul de colector 100 mA, puterea in curent continuu este P = UI = 12V · 100 mA = 1,2W. Dacă avem un randament de 50%, amplificatorul dă la ieșire 0,6 W ceea ce este suficient.

În figura 24.12 este dată schema unui preamplificator. Față de schema din cap 17, s-a mai adăugat un condensator paralel cu R pentru eliminarea frecvențelor înalte și a zgomotului. Condensatorul de cuplaj cu etajul următor are o valoare între 1 și 10 µF, iar condensatorul de decuplare al emitorului 10 — 100 µF.

Pentru orientare vom da valorile rezistențelor acestui amplificator.

$$R_c = 4{,}7\ \mathrm{k\Omega} \quad R_1 = 68\ \mathrm{k\Omega} \quad R_E = 470 - 1\ \mathrm{k\Omega}$$

Pentru R_2 se alege un potențiometru de 22 kΩ care se reglează astfel ca pe colector tensiunea să scadă la jumătate din tensiunea de alimentare.

Un preamplificator pentru radioamatori trebuie să lase să treacă o bandă de frecvență între 300 și 3000 Hz. Astfel sînt eliminate zgomotele perturbatoare, frecvențele audio înalte provenite din demodularea emisiunilot altor emițătoare. De aceea condensatoarele de cuplaj și cele de decuplare din emitor trebuie dimensionate pentru o frecvență minimă de 200—300 Hz. Dacă impedanța de intrare preamplificatorului se situează între 0,5 și 2 kΩ se poate utiliza formula:

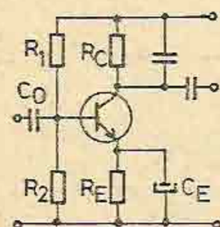


Fig. 24.12. Etaj de amplificare audio.

$$C_0 = \frac{1}{2 \cdot f_0 \cdot R_{in}}$$

Pentru $R_{in} = 1$ kΩ și frecvența limită inferioară 200 Hz

$$C_0 = \frac{1}{2 \cdot 200 \cdot 1\,000} = 0{,}8\ \mu F$$

Pentru condensatorul din emitor trebuie știut că reactanța sa capacitivă X_c trebuie să fie 1/10 din R_E. Acest condensator se dimensionează cu formula:

$$C_E = \frac{10}{2\pi \cdot 200 \cdot 470} = 16{,}9\ \mu F$$

Deoarece nu există o astfel de valoare, alegem 22 μF.

Condensatorul din colector are rolul de tăiere a frecvențelor înalte. El se dimensionează în funcție de frecvența limită superioară 3 000 Hz

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f_s \cdot R}$$

De fapt acest condensator va fi în paralel cu rezistența de colector R_c, dar și cu impedanța de intrare a etajului următor. Pînă la urmă rezistența echivalentă paralelă cu acest condensator este $R = 1$ kΩ.

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 3\,000 \cdot 1\,000} = 53\ \text{nF}$$

Se poate alege un condensator de 47 nF.

Avînd în vedre că în general este necesară o amplificare mare apare pericolul ca un amplificator audio să autooscileze. Pentru a se evita acest pericol se stabilizează punctul de funcționare prin utilizarea reacției negative, aducîndu-se la intrare o parte din tensiunea de ieșire. În cazul amplificatorului din fig. 24.13 reacția se realizează cu un condensator montat între colector și bază.

Banda necesară unui receptor de trafic este foarte îngustă și de aceea nu se pun probleme prea complicate de redare fidelă, drept care schemele sînt simple. În acest caz nu apare necesitatea unei corecții de ton, ci numai a reglajului volumului. Practic aceasta se obține cu ajutorul unui divizor rezistiv.

Dacă impedanța de intrare a etajului următor este mai mare decît impedanța de ieșire a etajului precedent se utilizează un divizor de tensiune. Deoarece sensibilitatea urechii respectă o lege logaritmică se va folosi un potențiometru logaritmic.

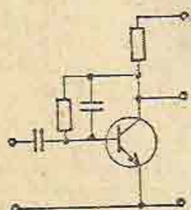


Fig. 24.13. Etaj audio cu reacție negativă.

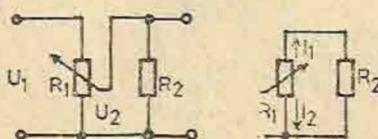
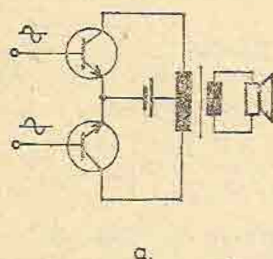


Fig. 24.14. Divizorul de tensiune și divizorul de curent.

24.6. Amplificatorul final

Acest amplificator trebuie să asigure puterea de ieșire audio care în cazul unui receptor de trafic poate fi cuprinsă între 200 mW și max. 3 W.

Cele mai răspîndite etaje finale sînt amplificatoarele finale cu două tranzistoare în contratimp. Tranzistoarele lucrează în clasă B sau AB (vezi cap. 25). Fiecare din ele amplifică pe o singură semiperioadă. Avantajul acestei scheme este că pe timpul pauzei curentul este mic ceea ce determină un randament foarte bun sau altfel spus un consum de energie redus.



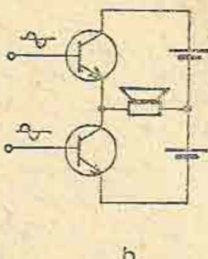


Fig. 24.15. Schema simplificată de amplificator AF în contratimp paralel (a) și serie (b).

În principiu există două scheme în contratimp, contratimp paralel și contratimp serie. Schema în contratimp paralel are tranzistoarele montate în paralel față de sursa de alimentare U_a. Aceasta necesită la ieșire un transformator cu priză mediană, prea scumpă, și de aceea este preferată schema în contratimp serie.

Amplificatorul final în contratimp serie necesită două surse de alimentare separate care lucrează pe rînd. Pentru a economisi o sursă de alimentare se montează în serie cu difuzorul un condensator de valoare mare. În semiperioadele pozitive conduce tranzistorul T_1, iar condensatorul se încarcă. Pe timpul celeilalte semiperioade, tranzistorul T_2 este în conducție și condensatorul se descarcă. Curentul trece prin difuzor în direcție contrară. Pentru un astfel de montaj este nevoie ca semnalele de la cele două intrări să fie în antifază. Pentru ca ambele tranzistoare să fie comandate de un singur semnal se vor alege două tranzistoare complementare, un *npn* și un *pnp* care au parametri identici. În semiperioada pozitivă conduce T_1 în timp ce în semiperioada negativă conduce T_2 și condensatorul se descarcă prin difuzor.

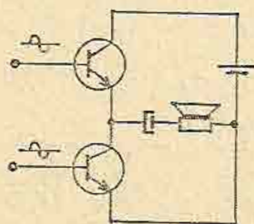


Fig. 24.16. Amplificator în contratimp serie cu tranzistoare identice.

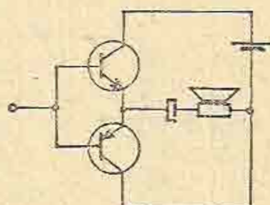


Fig. 24.17. Amplificator în contratimp serie cu tranzistoare complementare.

Test recapitulativ: radiorecepție

Pentru verificarea cunoștințelor în domeniul radiorecepției vă propunem să rezolvați următorul test. Dintre cele patru răspunsuri de la fiecare întrebare numai unul este corect. Va trebui să dați cel puțin 20 de răspunsuri corecte.

1. Ce rol are demodulatorul?

Demodulatorul are rolul de....

a) ... a transpune semnalele de radiofrecvență modulate într-o frecvență intermediară mai joasă.

b) .... a transpune semnalele de radiofrecvență modulate în domeniul frecvențelor joase (audio)

c) ... a filtra semnalul de înaltă frecvență din antenă

d) ... a translata în înaltă frecvență un semnal audio de modulație

2. Care dintre următoarele scheme reprezintă corect un demodulator AM?

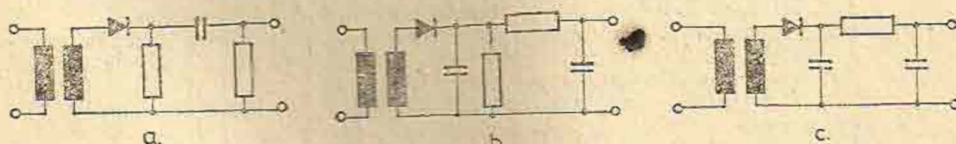


Fig. 24.18.

3. Care dintre demodulatoarele următoare se folosește pentru demodularea semnalelor SSB?

a ... detector de produs

b ... detector radio

c ... discriminator

d.... detector de raport

4. Cum funcționează un detector de produs pentru demodularea semnalelor SSB?

a. Semnalul SSB este translatat în domeniul 200... 300 kHz și apoi este demodulat într-un detector de raport

b. Două diode lucrează în contratimp

c. Semnalul SSB este mixat cu o purtătoare și apoi este translatat în domeniu audio.

d. frecvența centrală a circuitelor acordate este mereu centrată pe frecvența semnalului recepționat

5. Ce fel de demodulator este desenat în figura 23.19?

a. ... demodulator în inel

b. ... discriminator

c. ... detector de raport

d. ... detector

6. Ce este un BFO?

Un BFO este ...

a. ... un oscilator suplimentar care este destinat generării unei purtătoare auxiliare pentru demodularea semnalelor SSB

b. ... schema unui demodulator SSB

c. ... O parte a schemei discriminatorului numeric (binary Frequency oscillator)

d. ... un filtru trece bandă cuplat critic.

7. Ce avantaj prezintă un receptor cu amplificare directă față de un receptor superheterodină?

Receptorul cu amplificare directă.

a ... are o selectivitate mai bună.

b. ... este mai indicat pentru recepția emisiunilor SSB

c. ... nu are o frecvență imagine.

d. ... nu are nevoie de demodulator.

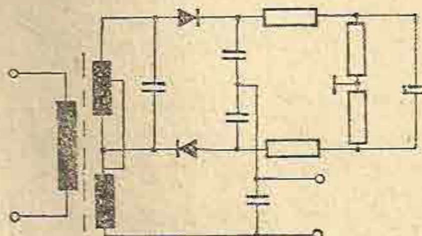


Fig. 24.19

8. Ce se înțelege prin receptor cu reacție?
Receptorul cu reacție este
a.... un receptor cu BFO.
b.... un demodulator cu reacție.
c.... un amplificator de joasă frecvență.
d.... un receptor cu conversie directă

9. Ce se înțelege printr-un 1-V-2?
Un 1-V-2 este:
a.... un receptor cu reacție cu un amplificator de RF și două amplificatoae audio.
b.... un receptor cu reacție cu un circuit de intrare și două amplificatoare audio.
c.... un receptor superheterodină cu un circuit de intrare RF și un mixer și două etaje de amplificatoare audio.
d.... receptor cu amplificare directă și două etaje de amplificare audio.

10. Ce se înțelege prin receptor cu conversie directă?
Într-un receptor cu conversie directă...
a.... semnalul de radiofrecvență este demodulat direct prin mixare
b.... semnalul de radiofrecvență este demodulat direct printr-o schemă cu reacție.
c.... semnalul de frecvență intermediară este transpus direct în domeniul audio fără a mai fi demodulat
d.'... se mixează — două frecvențe iar diferența lor se translatează pe frecvența de intrare.

11. În figura 24.20 este reprezentată schema bloc a unui receptor destinat.
a.... recepției emisiunilor MA.
b.... recepției emisiunilor telegrafice și celor MA
c.... recepției emisiunilor MA, telegrafice și SSB.
d.... recepției emisiunilor MF.

12..... Dacă frecvența recepționată trebuie să fie 7 MHz care va fi frecvența oscilatorului local dacă frecvența intermediară este 10 MHz?
a. 10 000 kHz.
b. 455 kHz
c. 10 700 kHz.
d. 17 000 kHz.

13. Cu toate că receptorul pe care îl posedați este acordat pe 14 MHZ în difuzor se mai aude și o emisiune a unui emițător de radiodifuziune. Dacă frecvența intermediară a receptorului este 455 kHz care este frecvența imagine recepționată, știind că oscilatorul local oscilează deasupra frecvenței recepționate?

a. ... 13 545 *c*. ... 14 900 kHz
b. ... 13 100 kHz *d*. ... 14 455 kHz

14. Cum poate fi atenuată frecvența imagine a unui receptor?
Frecvența imagine a unui receptor poate fi atenuată:
a.... printr-o selectivitate sporită a amplificatorului F_I
b.... prin alegerea unei frecvențe intermediare foarte ridicate.
c.... prin alegerea unui oscilator local foarte stabil
d.... prin alegerea unui mixer protejat față de semnalele puternice.

15. Ce avantaje are un receptor cu dublă schimbare de frecvență față de un receptor superheterodină?
Avantajele receptorului cu dublă schimbare de frecvență sînt:
a. ... sensibilitate și selectivitate mai bune.
b. ... sensibilitate mai bună și siguranță față de apariția intermodulației.
c. ... siguranță față de apariția frecvenței imagine
d. ... selectivitate mai bună, alinierea mai ușoară a circuitelor acordate

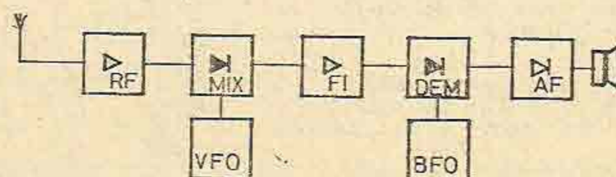


Fig. 24.20

16. Ce se înţelege prin intermodulaţie?

Intermodulaţia este un fenomen nedorit care apare datorită saturaţiei circuitului de intrare al receptorului sau a mixerului...

a. ... iar modulaţia unui emiţător se transpune pe purtătoarea altuia

b. ... cînd doi emiţători se mixează, iar diferenţa frecvenţelor cade în domeniul frecvenţe intermediare.

c. ... şi apar armonici ale frecvenţei recepţionate care distorsionează semnalul util.

d. ... şi apar produse de modulaţie în jurul frecvenţei semnalului util care se mixează cu frecvenţa oscilatorului local şi cad în domeniul frecvenţei intermediare.

17. Ce determină sensibilitatea unui receptor?

Sensibilitatea unui receptor este determinată de....

a.... amplificarea totală a receptorului.

b.... amplificarea amplificatorului de radiofrecvenţă.

c.... zgomotul amplificatorului FI.

d..... zgomotul circuitului de intrare.

18. Care dintre următoarele scheme reprezintă cuplajul capacitiv al antenei? (fig. 24.21)

19. Ce rol are mixerul unui receptor superheterodină?

Mixerul are rolul:

a.... de a translata semnalul de intrare în domeniul frecvenţei intermediare.

b.... de a translata cu ajutorul unui oscilator local frecvenţa intermediară în domeniul frecvenţelor audio.

c.... să atenueze frecvenţa imagine.

d.... de a îmbunătăţi selectivitate receptorului.

20. ... Care dintre următoarele curbe de rezonanţă reprezintă curba de cuplaj critic a unui filtru trece bandă dintr-un amplificator FI? (fig. 24.22)

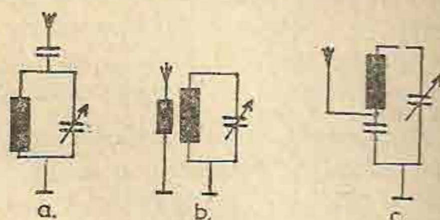


Fig. 24.21.

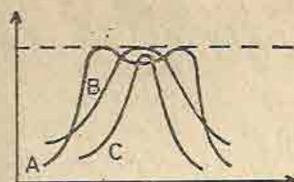


Fig. 24.22.

21. Ce se înţelege prin RAA?

RAA este:

a.... reglajul automat al frecvenţei.

b.... reglajul automat al amplificării

c.... reglajul automat al atenuării.

d.... receptor cu amplificare directă

22. În figura 24.23 este reprezentată schema unui amplficator AF. Care set de valori de rezistenţe este corect?

R	R_1	R_2	R_c	R_E
a	33 K	4,7K	10K	1K
b	4,7K	33 K	10K	1K
c	4,7K	33 K	1K	10K
d	33 K	4,7K	1K	10K

23. Care este curentul mediu absorbit de un amplificator final care dă la ieşire o putere de 1 W şi un randament de 50%?

a 1A; *b* 0,2 A; *c* 0,5 A; *d* 0,1 A.

24. Care sînt avantajele unui amplificator final în contratimp faţă de unul simplu?

Amplificatorul în contratimp are avantajul

a.... unor distorsiuni mai mici

b.... unei amplificări mai mari.

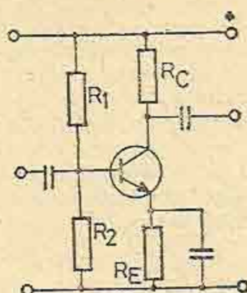
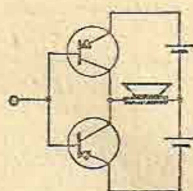


Fig. 24.23.



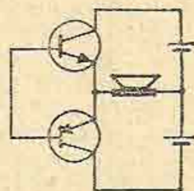


Fig. 24.24.

c.... unui randament mai bun.
d..... unei caracteristici de frecvență mai bune.
25. Care dintre schemele 24.24 reprezintă un amplificator în contratimp cu tranzistoare complementare?

Soluțiile testului

1. Răspunsul corect este *b*. Răspunsul *a* este valabil pentru un mixer răspunsul *d* pentru un modulator iar *c* pentru un circuit de intrare.

2. *b*. Paralel cu condensatorul trebuie să fie și o rezistență de descărcare.

3. *a*. Celelalte demodulatoare sînt destinate emisiunilor FM.

4. *c*.

5. *c*. Se recunoaște după diodele în contratimp și înfășurarea suplimentară.

6. *a*.

7. *c*. Deoarece nu se face nici o mixare nu poate apare vreo frecvență imagine. Nu se poate atinge o selectivitate prea înaltă datorită numărului mic de circuite acordate.

8. *b*.

9. *a*. V desemnează receptorul cu amplificare directă, cifra dinainte exprimă numărul circuitelor de intrare iar ea care îi urmează numărul etajelor de AF.

10. *a*.

11. *c*. Prin comutarea BFO este posibilă recepția emisiunilor SSB alături de recepție celor telegrafice și a celor MA.

12. *d*. 7000 + 10 000 = 17 000 kHz

13. *c*. Perturbatorul se găsește mai sus cu dublul frecvenței intermediare.

14. *b*. Prin alegerea unei frecvențe intermediare ridicate intervalul dintre frecvența imagine și frecvența semnalului recepționat este foarte mare și astfel frecvența imagine este eliminată de chiar circuitul de intrare. O altă soluție este îmbunătățirea selectivității circuitului premergător mixerului.

15. *c*.

16. *a*.

17. *d*. Zgomotul circuitului de intrare este amplificat de toate etajele următoare ia sensibilitatea este determinată de intervalul față de zgomot.

18. *b*.

19. *a*. Răspunsul *b* este valabil pentru un demodulator.

20. *b*. Cuplajul critic are o curbă de amplitudine maximă într-o bandă îngustă.

21. *b*.

22. *a*. Rezistența R_1 este mereu mai mare decît $R_2 \cdot R_c$ și R_E se aleg conform raportului 5 : 1 pînă la 10 : 1.

23. *b*. Pentru un randament de 50% puterea absorbită este 2 W.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2\ \text{W}}{10\ \text{V}} = 0{,}2\ \text{A}$$

24. *c*. Cu cît curentul de repaus este mai mic, cu atît randamentul este mai bun. La un amplificator obișnuit distorsiunile sînt mai mici și amplificarea mai mare.

25. *b*. Un amplificator în contratimp cu tranzistoare complementare are un tranzistor *npn* și unul *pnp* iar emitorii se leagă împreună.

Capitolul 25

Propagarea undelor electromagnetice

În acest capitol ne vom ocupa de propagarea undelor electromagnetice în spațiul liber, problema cea mai fascinantă a radioelectronicii care reprezintă de fapt esența acesteia.

În 1870 fizicianul englez James Clark Maxwell 1831—1879 a demonstrat matematic că un curent care străbate un conductor crează în jurul acestuia un cîmp electromagnetic. Acest cîmp are două componente — electrică și magnetică. Michael Faraday a imaginat liniile de forță ale unui cîmp electromagnetic care sînt caracterizate de o direcție și o anumită densitate. Dacă pe o direcție intensitatea forței și densitatea liniilor rămîn neschimbate, se vorbește de un cîmp omogen; dacă, din contră, acestea variază, cîmpul este neomogen.

Între două sfere sau plăci metalice încărcate cu electricitate în mod diferit se formează un cîmp electrostatic. Dacă ne întoarcem la capitolul „Condensatorul„ ne amntim că intensitatea cîmpului depinde de diferența de potențial dintre plăci și de distanța ce le separă. În acest fel intensitatea cîmpului este definită de diferența de potențial pe unitatea de lungime de-a lungul unei linii de cîmp. Unitatea de intensitate a cîmpului electric E este V/m, dar în general nu se ajunge la valori atît de mari, ci abia la µV/m sau V/m. Dacă tensiunea pe plăcile condensatorului variază sensibil, atunci direcția și intensitatea cîmpului vor urmări variația acesteia.

Cînd un conductor este străbătut de un curent electric, în jurul său se formează un cîmp magnetic. Dacă acest curent este constant, cîmpul din

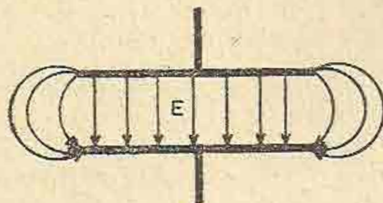
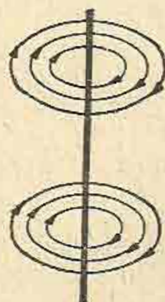


Fig. 25.1. Cîmpul electric al unui condensator.


Fig. 25.2. Cîmpul magnetic creat de un curent care străbate un conductor.

jurul firului este magnetostatic, iar liniile de cîmp se închid în cercuri concentrice în jurul firului.

Desigur, dacă prin conductor circulă un curent variabil, cîmpul magnetic va urmări variația curentului. Intensitatea curentului magnetic H se exprimă în $\frac{\mu A}{m}$, această unitate fiind mai uzuală în radiotehnică decît $\frac{A}{m}$.

Prezentate astfel lucrurile par foarte simple, dar niciodată un curent electric nu circulă dacă nu există diferență de potențial, adică o tensiune, prin urmare, nici un cîmp magnetic nu există fără a exista în același timp și în același loc și un cîmp electric. Cele două componente sînt întotdeauna reciproc perpendiculare.

25.1. Cîmpul electromagnetic variabil

Vom explica radiația unui cîmp electromagnetic prin producerea sa care are drept cauză un curent alternativ. Generatorul cedează energie, să admitem într-un conductor, care se transformă în cîmp. La conectarea generatorului, această energie este radiată după un anumit timp în jurul conductorului (am spus după „un anumit timp", deoarece energia electrică nu se propagă cu o viteză infinită, ci cu o viteză extrem de mare, viteza luminii, dar cu toate acestea limitată). Dacă generatorul se stinge, cîmpul se destramă și energia se întoarce în conductor. Desigur și aceasta durează un timp. De aceea părțile de cîmp situate la o oarecare depărtare de conductorul se întorc mai tîrziu în acesta. Cîmpul magnetic întrerupt produce în conductor o tensiune care crează din nou, un cîmp electric. Această tensiune apărută prin întreruperea curentului electric este întîlnită foarte des, mai ales la vehiculele cu tracțiune electrică, cînd apar, întreruperile de acționare.

Dacă un conductor este străbătut de un curent alternativ, procesele care apar la conectarea și deconectarea generatorului electric se vor repeta în acest caz în același fel, diferită fiind numai frecvența. Prin urmare să recapitulăm. Cînd curentul crește, ceva mai tîrziu apare un cîmp electromagnetic care la rîndul lui variază. Cînd curentul scade conform sinusoidei, energia cîmpului se reîntoarce în conductor, dar avînd în vedere că pentru aceasta este nevoie de un oarecare timp, o parte din energia de cîmp întîrzie să ajungă la conduc-

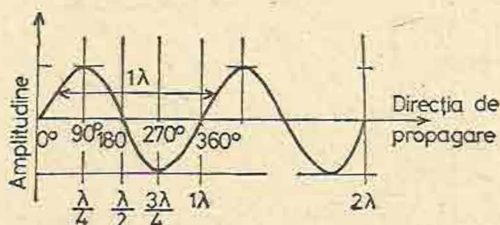


Fig. 25.3. Evoluția în timp a unei unde electromagnetice

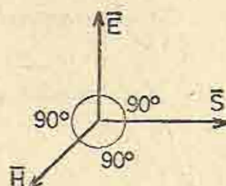


Fig. 25.4. Vectorii de cîmp și vectorul Poynting

tor și în jurul său mai există o distribuție de curent. Acest nou curent crează un nou cîmp care se opune vehiculului cîmp. În felul aesta liniile de cîmp electric formează cercuri închise care strangulează liniile de cîmp magnetice. Acest proces se repetă cu perioada curentului alternativ, astfel încît dinspre conductor se propagă o undă electromagnetică a cărei frecvență și lungime de undă corespunde ecxact carateristicilor cîmpului electric. Ea se depărtează în spațiu cu viteza luminii. Direcția de propagare a undelor electromagnetice în spațiu liber este perpendiculară pe liniile de cîmp ale cîmpului electromagnetic. În figura 25.4. este dată reprezentarea vectorială a unui cîmp electromagnetic. Vectorul E reprezintă intensitatea cîmpului electric, iar vectorul H — intensitatea cîmpului magnetic. Perpendicular pe planul celor 2 vectori, vectorul S (vectorul Poytinng) determină direcția de propagare a energiei electromagnetice.

25.2. Frontul de undă

Exemplul clasic de formare al undelor în apă suferă de faptul că introduce reprezentarea propagării undelor în plan orizontal. De fapt, o antenă de emisie radiază undele în toate direcțiile cu aceeași viteză. Să ne închipuim o sferă a cărei rază crește necontenit. În apropierea antenei de emisie, această sferă are o suprafață destul de curbată, dar la distanțe mari curbura suprafeței sale scade pînă cînd o porțiune dată poate fi considerată plană. Este același lucru cu constatarea că pe o foaie de hîrtie nu știm că pămîntul e rotund.

Prin urmare, putem spune că la o distanță apreciabilă față de emițător, avem la un moment dat o undă plană ca în figura 25.5. Cum privim figura, unda înaintează spre noi ca un front. De aceea îl vom numi front de undă plană. Direcția de propagare rămîne mereu perpendiculară pe acest front. În timpul unei semiperioade liniile de cîmp electrice și magnetice suferă rotații de 180°. Direcția de propagare nu variază, ci rămîne întotdeauna perpendiculară pe frontul de unde.

Pentru a defini tăria unui cîmp electromagnetic se măsoară diferența de potențial pe unitatea de lungime, de-a lungul unei linii de cîmp din frontul de unde. De aceea intensitatea cîmpului E se exprimă în $\frac{V}{m}$ sau $\frac{\mu V}{m}$.

Cea mai uzuală unitate rămîne totuși $\frac{\mu V}{m}$.

În spațiul ideal intensitatea cîmpului electric E scade liniar cu distanța. Dar cum undele nu se propagă în condiții ideale, atenuarea este mult mai pronunțată.

În general undele electromagnetice ocupă un spectru foarte larg, începînd cu frecvențele foarte joase de cca 3 kHz pînă la peste 300 GHz. Acestea formează numai spectrul radio a cărui repartizare este prezentată în tabelul 25.1:

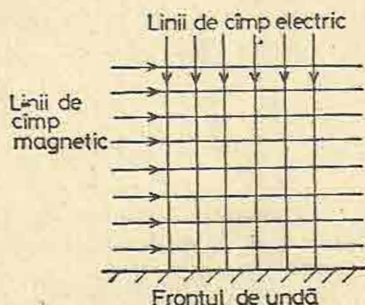


Fig. 25.5. Frontul de undă

Tabelul 25.1.

Împărțirea spectrului radio

Domeniu frecvențe	lungimi de undă	Denumirea românească	Simbol	Denumirea engleză	Simbol
3 kHz— 30 kHz	100 km— 10 km	unde miriametrice	—	very low frequencies	VLF
30 kHz—300 kHz	10 km— 1 km	unde lungi	UL	low frequencies	LF
300 kHz— 3 MHz	1 km—100 m	unde medii	UM	medium frequencies	MF
3 MHz— 30 MHz	100 m— 10 m	unde scurte	US	high frequencies	HF
30 MHz—300 MHz	10 m— 1 m	unde ultrascurte	UUS	very high	
300 MHz— 3 GHz	10 dm— 1 dm	unde decimetrice		ultra high frequencies	UHF
3 GHz— 30 GHz	10 cm— 1 cm	unde centimetrice		super high frequencies	SHF
30 GHz—300 GHz	10 mm— 1 mm	unde milimetrice		extremly high freuencies	EHF

Dar undele electromagnetice nu sînt numai unde radio, ci și radiații luminoase sau radiații cosmice. Diferența între undele radio și undele luminoase constă numai în lungimea de undă și prin urmare undele radio sînt reflectate, refractate sau difractate. După cum ne aducem aminte din fizica învățată în școală, reflexia apare la întîlnirea unei unde cu o suprafață plană. Unda își schimbă direcția cu un unghi egal cu unghiul sub care unda cade pe suprafața plană. Gradul de reflexie este dat de conductibilitatea mediului reflectant, de constanta dielectrică și de permeativitatea sa. Atunci cînd undele electromagnetice trec dintr-un mediu în alt mediu cu o constantă dielectrică diferită, apare fenomenul de refracție. Acesta se manifestă mai ales în cazul propagării undelor ultrascurte. Schimbarea constantei dielectrice influențează viteza de propagare a undelor electromagnetice ceea ce determină o schimbare a direcției. Astfel de fenomene apar în atmosferă unde umiditatea și densitatea diferită a aerului determină variații ale constantei dielectrice. Fenomenul este asemănător cu imaginea deformată a unui baston introdus în apă care apare frînt.

De asemenea în propagarea undelor electromagnetice apare și fenomenul de difracție la întîlnirea unor obstacole. Fenomenul este foarte des observat în spatele munților sau a clădirilor înalte unde este posibilă recepția undelor radio chiar dacă ne aflăm într-o zonă umbrită.

25.3. Atmosfera terestră

În propagarea undelor electromagnetice un rol însemnat îl joacă stratul foarte gros de gaze care înconjoară pămîntul și pe care îl numim atmofseră. Grosimea acestui strat variază între 2000—3000 km. iar în compoziția să intră în principal oxigen, azot și hidrogen la care se adaugă vaporii de apă. Atmosfera se împarte în 3 regiuni: troposfera, stratosfera și ionosfera.

25.3.1. Troposfera

De la suprafața pămîntului pînă la cca 11 km înălțime, pămîntul este înconjurat de troposferă. Aici se află aproape 75% din conținutul atmosferei și tot aici se întîmplă cele mai multe fenomene meteorologice. Temperatura troposferei scade la fiecare 1000 m cu cîteva grade, iar la limita sa temperatura ajunge la —50°. Înălțimea limită a troposferei variază de la un anotimp la altul. În emisfera nordică limita superioară coboară la cca 9,7 km în luna martie, iar în iulie se urcă pînă la 11,1 km. Starea troposferei are o importanță determinantă în propagarea undelor ultrascurte.

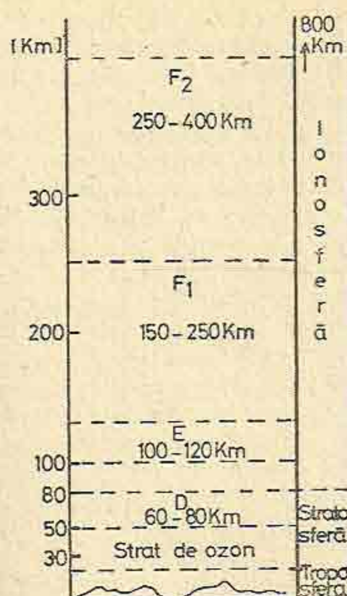


Fig. 25.6. Stratificarea atmosferei

25.3.2. Stratosfera

Între 11—80 km înălțime se află stratosfera. Ea reprezintă un domeniu lipsit de fenomene meteorologice, cum de altfel este lipsit și de vapori de apă. Temperatura aerului este constantă pînă la o înălțime de aproape 20 km înălțime. De la această înălțime, temperatura începe să crească, iar la 50 km temperatura se apropie de +50°C. În această zonă atmosfera este bogată în ozon. Stratul de ozon are o mare însemnătate pentru existența vieții pe pămînt deoarece absoarbe o mare parte din radiațiile ultraviolete provenite de la soare. Între 50—80 km temperatura scade treptat pentru ca apoi trecînd în ionosferă, să crească din nou.

25.3.3. Ionosfera

De la înălțimea de 80 km pînă la cca 800 km se află ionosfera. Peste 800 km se intră deja în spațiul interplanetar. În ionosferă se află un mare număr de particule încărcate electric și anume ioni și electroni. Aceste particule apar ca urmare a ionizării moleculelor neutre de aer cauzată de radiațiile ultraviolete și roentgen provenite de la soare. Desigur, la acestea se adaugă și radiații cosmce, precum și norii de meteoriți care intră fără contenire în atmosfera terestră (cîteva zeci de miliarde de particule meteoretice în 24 ore).

Radiațiile smulg din structura atomică a gazului un electron, iar ceea ce rămîn este un ion pozitiv. Electronul liber se poate atașa la un atom neutru, formînd astfel un ion negativ, sau din contră se va atașa la un ion pozitiv și se va recombina într-un atom care devine neutru. Acest fenomen se numește recombinare. Densitatea de electroni liberi depinde de intensitatea radiațiilor iar prezența acestora din urmă determină calitățile ionosferei care va reflecta anumite unde electromagnetice.

În anul 1900 Kennelly și Heaviside au presupus existența unui strat conducător de electricitate la mare înălțime. În 1924 englezii Appleton și Barnet au demonstrat experimental existența acestui strat refelectant. Cunoștințele actuale au fost completate de cercetările efectuate de sateliți artificiali și rachetele geofizice.

Dar, să ne întoarcem la ionosferă. La o înălțime de 70—90 km se află o mare concentrație de electroni care formează ziua stratul D. Acest strat dispare noaptea. Între 110—130 km se află stratul E, numit și Kennelly-Heaviside. Deasupra lui urmează stratul F (Appleton) care în zilele de vară se divide în straturile F_1 și F_2. Maximul de ionizare apare la stratul F_1 între 200—230 km înălțime și în stratul F_2 între 250—400 km. Deasupra stratului F_2 ionizarea crește treptat pînă cînd dispare total.

În lumina noilor cercetări această structură a ionosferei nu ar mai rezista criticii, deoarece apar deosebiri în ceea ce privește concentrația de electroni. Teoria straturilor este foarte răspîndită și este foarte greu să se renunțe la ea.

Ionosfera este mereu afectată de variații și va trebui să ne-o reprezentăm cu totul altfel decît o structură fixă. Ionizarea variază continuu în funcție de anotimp, de ora din zi, în funcție de activitatea solară sau de latitudinea geografică.

25.4. Radiația undelor electromagnetice

Un emițător radiază în spațiu un fascicul de unde de cele mai multe ori direcționate. Ele se propagă totuși în două moduri:

— în troposferă, de-a lungul suprafeței terestre de unde și numele de undă de suprafață.

— prin reflexii în ionosferă, unda spațială.

25.4.1. Unda de suprafață

Unda de suprafață urmează curbura pămîntului și este cu atît mai influențată de efectul absorbant al suprafeței pămîntului cu cît frecvența este mai mare. De aceea cea mai bună propagare prin unda de suprafață o au undele lungi. Unda de suprafață este influențată de conductivitatea solului și de structura suprafeței — construcții vegetație — și de aceea bătaia unui emițător este dependentă direct de puterea radiată de emițător în antenă.

În unde scurte bătaia undei de suprafață este scurtă. În banda de 80 m bătaia undei de sol este maxim 100 km, iar la aceeași putere radiată în antenă bătaia în banda de 10 m abia atinge 15 km. Dacă se urmărește o bătaie mai mare a undei de sol va trebui ca antenele să aibă polarizare verticală.

25.4.2. Propagarea undei spațiale

Pînă în anul 1923 domeniul undelor scurte era neglijat și numai puțini radioamatori lucrau pe frecvențe mai mari decît 1,5 MHz. Dar în noaptea dintre 27 și 28 noiembrie 1923 francezul Jean Deloy (F 8AB) și americanii John Reinartz K 6 BJ și Fred Schnell (W4 CF) au reușit prima legătură bila-

terală intercontinentală pe parcursul a cîteva ore. Se demonstra astfel posibilitatea comunicațiilor la distanțe foarte mari. După dispute grele radioamatorilor le-au fost alocate benzile 1,75; 3,5; 14; 28 și 56 MHz.

Comunicațiile la mari distanțe se realizează datorită propagării undei spațiale. În esență unda spațială este reflectată de straturile ionosferei. Pentru a reflecta unda spațială densitatea electronilor din ionosferă trebuie să fie cu atît mai mare cu cît frecvența este mai înaltă. Dar reflexia este cu atît mai favorabilă cu cît unghiul de radiație al antenei θ este mai mic.

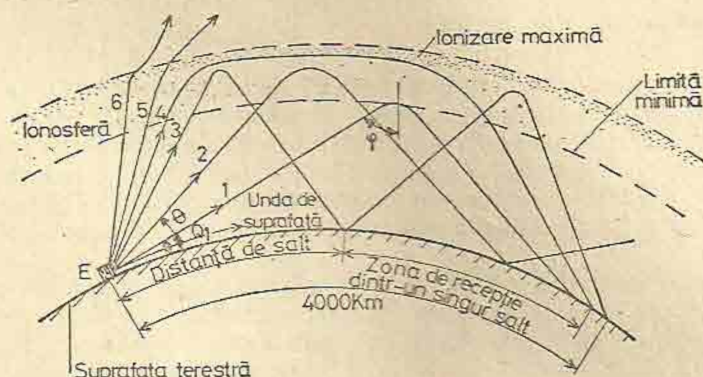


Fig. 25.7. Propagarea undelor electromagnetice prin unda de suprafață și undele spațiale.

Dealtfel cu cît unda spațială ajunge mai oblic în ionosferă cu atît unghiul de reflexie φ este mai mare și bătaia crește. O undă spațială radiată aproape vertical riscă să pătrundă prin straturile ionosferei și să se piardă în spațiu. Aceasta se poate observa sugestiv în figura 25.7. Deci lungimea „saltului" depinde de unghiul θ și de înălțimea stratului reflectant. De exemplu stratul cel mai înalt al ionosferei, stratul F_2 permite un salt de aprox. 4000 km în timp ce stratul E abia maxim 2000 km.

Reținem că pentru a realiza legături la mare distanță trebuie ca unghiul de radiație să fie cît mai mic.

Între punctul unde acțiunea undei de suprafață încetează și punctul unde unda spațială atinge din nou pămîntul se întinde zona de tăcere a unui emițător radio.

Unda de suprafață poate fi din nou reflectată de pămînt și astfel poate ajunge din nou în ionosferă de unde poate fi reflectată a doua oară spre pămînt. Uneori acest proces se poate repeta de cîteva ori și în condiții favorabile poate înconjura pămîntul.

Totuși reflexia multiplă este destul de complexă datorită faptului că starea ionosferei variază de la un loc la altul. Să urmărim din nou fig. 25.7. Unda 1 radiată sub unghiul θ cel mai mic este reflectată de ionosferă sub un unghi φ foarte mare și distanța de salt este maximă. Unda 2 este radiată sub un unghi θ mai mare și pătrunde mai mult în stratul ionizat reflectîndu-se sub un unghi mai mic distanța de salt micșorîndu-se. Unda 3 radiată sub un unghi și mai mare pătrunde și mai mult în stratul ionizat pînă atinge o zonă mai densă este reflectată, dar pentru a atinge aceeași distanță unda trebuie să mai sufere o reflexie. O situație specială o are unda 4 care pătrunde pînă

în straturile cele mai intens ionizate după care parcurge distanțe mari de-a lungul lor pînă întîlnește o zonă neomogenă și revine pe pămînt. Aceasta este propagarea, prin așanumita *undă alunecătoare* sau *Super Mode*.

Undele 5 și 6 sînt radiate foarte abrupt și de aceea ele pătrund prin straturile ionosferei și se pierd în spațiu.

Undele 5 și 6 sînt radiate foarte abrupt și de aceea ele pătrund prin straturile ionosferei și se pierd în spațiu.

25.4.2. Absorbția undelor spațiale

O undă spațială ajunsă în ionosferă aduce în stare de oscilație electronii și ionii întîlniți. Prin aceasta se pierde o parte de energie apărînd astfel o absorbție care crește odată cu pătratul lungimii de undă. Absorbția crește odată cu creșterea densității purtătorilor de sarcină se pierde mai multă energie prin ciocnirile acestora cu frontul de undă. De aici și concluzia că absorbția crește cu cît drumul parcurs de unda spațială prin ionosferă este mai lung.

O măsură indirectă a absorbției este dată de LUF — (Lowest Usable Frecuency) Aceasta este frecvența limită minimă care se mai poate folosi pentru radiocomunicații prin undă spațială. Desigur există și o frecvență limită maximă MUF (Maximum Usable Frequency).

25.4.3. Reguli generale privind propagarea în benzile de unde scurte alocate radioamatorilor

Radioamatorul nu are posibilitatea să măsoare starea ionosferei pentru propagarea la mare distanță și nu poate astfel să aleagă frecvența cea mai adecvată pentru o transmisiune optimă. Prin observații repetate la care se adaugă și unele cunoștințe teoretice despre fenomenul propagării radioamatorul poate căpăta un anumit simț care să-i spună care bandă este cea mai indicată într-un anumit moment. Această practică nu se poate înlocui prin prevederi și reguli la îndemîna radioamatorilor deoarece ionosfera este mai niciodată liniștită, iar activitatea solară introduce totdeauna un factor de nesiguranță.

Propagarea în banda de 80 m. În timpul zilei se pot face QSO uri la distanțe relativ mici deoarece undele sînt absorbite puternic de stratul D. În timpul iernii se pot atinge depărtări mai mari, cca 400 km, decît în timpul verii. După apusul soarelui stratul D dispare și atenuarea dispare. În timpul nopții se pot face legături la distanțe mai mari, cca 1000 km.

Iarna și mai ales în timpul minimului activității solare se pot realiza legături intercontinentale la răsăritul soarelui.

Propagarea în banda de 40 m. În timpul zilei absorbția stratului D este destul de însemnată dar distanțele la care se realizează QSO uri sînt de regulă în jur de 1000 km și în condții favorabile chiar 2000 . Zona de tăere atinge ziua circa 100 km.

În perioadele de minim al activității solare spre sfîrșitul zilei se pot realiza legături intercontinentale totuși perturbate de stațiile apropiate.

În nopțile de iarnă distanța de salt se mărește atingînd maximul la miezul nopții. Atunci se pot realiza legături cu toate continentele neperturbate de stațiile apropiate deoarece întreaga Europă se află în zona de tăcere. Cele mai depărtate legături se realizează dacă întregul parcurs al undelor se află în partea cuprinsă de noapte a pămîntului, deoarece stratul D dispare.

Perturbațiile atmosferice sînt mai scăzute decît în banda de 80 m, dar vara comunicațiile din această bandă sînt apreciabil perturbate.

Propagarea în banda de 20 m. Banda de 20 m este banda tradițională ai DX-urilor. Aproape la orice oră traficul cu alte continente este activ. Totuși în timpul minimului activității solare banda de 20 m este deschisă traficului pînă la apusul soarelui. Noaptea nu sînt posibile QSO-uri.

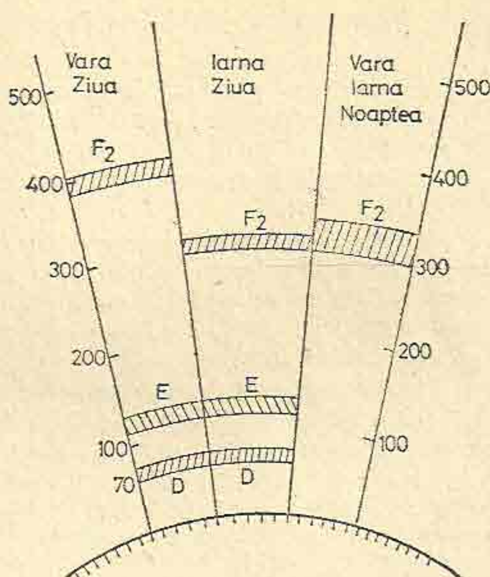


Fig. 25.8. Înălțimile straturilor reflectante în funcție de anotimp și perioadele zi-noapte

Aproape tot timpul lungimea saltului este circa 1000 km. În timpul maximului activității solare bătaia scade la 400 km. De multe ori vara nu mai apare zona de tăcere.

Trebuie spus că odată cu apusul soarelui zona de tăcere se întinde foarte repede și distanța de salt poate atinge uneori și 4000 km. Condiții deosebit de bune apar în cazul cînd o parte din traseul de propagare se află în partea umbrită a pămîntului.

Propagarea în banda de 15 m. În această bandă condițiile de propagare sînt foarte influențate de ciclul activității solare. Banda este deschisă traficului DX în timpul maximului activității solare. Atunci se pot face DX-uri foarte depărtate chiar cu puteri de emisie mici. Dar în timpul minimului solar banda este deschisă în zilele de vară numai pentru scurt timp . Noaptea nu se pot realiza legături depărtate, iar în timpul iernii banda este închisă.

Ocazional pot apare reflexii pe stratul sporadic E și sînt posibile legături la distanțe de cca 2000 km. Un avantaj este dat de faptul că banda de 15 m nu este influențată de perturbațiile atmosferice.

Propagarea în banda de 10 m. În timpul activității solare intense banda este deschisă legăturilor prin reflexii spațiale. În timpul zilei se pot realiza multe DX-uri chiar cu puteri mici. Se poate conta pe o zonă de tăcere de 4000 km. Traiectoria de propagare trebuie să traverseze partea luminată de soare, ceea ce înseamnă că se poate lucra cu stații din Extremul Orient de dimineața pînă seara tîrziu. Dar dependența de activitatea solară este foarte pronunțată...

În timpul de minim solar nu se mai pot realiza legături decît întîmplător pe stratul sporadic E pe distanțe mici și pentru scurtă durată.

25.5. Propagarea undelor ultrascurte

Propagarea undelor ultrascurte se aseamănă propagării luminii și se spune că au o propagare cuasioptică. Pentru radioamatori este alocată banda de 2 m (144 — 146 MHz).

Cu excepția unor cazuri izolate este imposibilă reflexia ionosferică a undelor ultrascurte.

Undele ultrascurte se propagă cu condiții bune pînă la distanțe ce trec dincolo de linia orizontului optic. Pe această distanță nu pot apare nici un fel de variații ale intensității cîmpului la locul recepției. Astfel se pot realiza comunicații cu puteri mici fără ca acestea să fie influențate de condițiile ionosferice sau atmosferice.

Undele electromagnetice cu lungimea de undă de 2 m se pot propaga pînă la distanțe ce depășesc cu 15% linia orizontului optic.

Se pare că această curbare a traiectoriei undelor ultrascurte este o urmare a faptului că odată cu înălțimea scade coeficientul de refracție al aerului. Acesta este determinat de cantitatea de vapori de apă de presiunea și de temperatura troposferei. Creșterea distanței peste linia orizontului optic se poate calcula cu formula:

$$d = 4{,}13\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)$$

unde d este bătaia sigură în banda de 2 m (în km);

h_1 — înălțimea antenei emițătorului (m);

h_2 — înălțimea antenei receptorului (m).

Extinderea distanței de propagare a undelor ultrascurte. Nu de puține ori s-au realizat transmisiuni în banda de unde ultrascurte la distanțe mai mari de 1000 km. Aceste curiozități au cauze diverse dar de cele mai multe ori se datoresc unor particularități ale troposferei.

În general temperatura troposferei scade odată cu creșterea înălțimii. Datorită mișcărilor aerului și a altor influențe meteorologice temperatura aerului poate varia discontinuu și prin aceasta apar abateri de la regulile normale. O inversiune a temperaturii înseamnă și o schimbare de densitate a atmosferei. Totodată aerul cald este mai rarefiat decît cel rece.

Conform legilor refracției raza de lumină se frînge la trecerea dintr-un mediu rarefiat într-unul mai dens. La fel și undele ultrascurte. La intrarea într-un strat de inversiune traiectoria frontului de undă se frînge către suprafața pămîntului.

Aceste straturi de inversiune se află la înălțimi relativ mici față de suprafața pămîntului. Aceste sînt sau în apropierea solului sau la înălțimi de cîteva mii de metri.

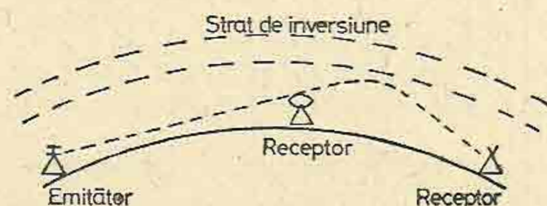


Fig. 25.9. Propagarea undelor ultrascurte în troposferă.

În fig. 25.10 se observă că receptorul 1 din imediata apropiere a emițătorului se află în vizibilitate directă, cînd unda radiată se propagă aproape tangențial la suprafața terestră. Dacă troposfera permite o încovoiere a traiectoriei frontului de undă atunci putem obține o extindere a bătăii dacă emițătorul radiază sub un unghi foarte plat. Pentru aceasta este nevoie de o antenă cu o directivitate foarte bună în planul H.

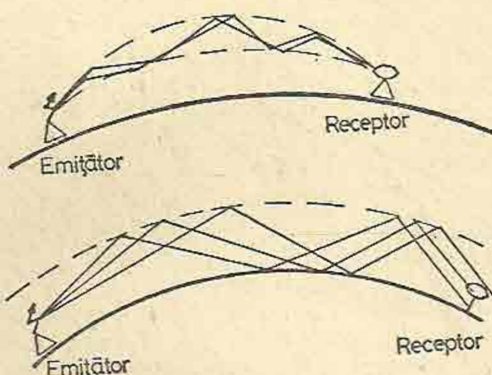


Fig. 25.10. Propagarea prin tub de reflecție format între două straturi de inversiune.

Un fenomen cu totul deosebit este propagarea prin ghiduri de undă atmosferic. (troposferic duct-propagation sau mai scurt ducting). Acest fenomen apare dacă în atmosferă sînt formate mai multe straturi de inversiune suprapuse. Fasciculul de unde este reflectat în mod repetat de la un strat la altul pînă cînd, găsind o breșă în stratul inferior poate ajunge din nou pe pămînt. În felul acesta, spațiul dintre straturi fiind restrîns se poate realiza o radicomunicație la mare distanță chiar pe unde ultrascurte. Acest fenomen poate să apară și între un strat de inversiune și sol. În felul acesta nu mai poate fi vorba de vreo zonă de tăcere.

Mai există și cazul cînd indicele de refracție al stratului de inversiune este atît de mare încît propagarea în banda de 2 m este asemănătoare propagării undelor scurte.

Propagare prin dispersie (scatter). În straturile înalte alte troposferei mai ales la înălțimi de la circa 10 km se petrec mișcări intense ale aerului. Acești curenți de aer de temperaturi diferite provoacă turbulențe de durată. Apar neomogenități parazitare care se deosebesc de particulele de aer înconjurătoare prin temperatură, umiditate și presiune. Dacă frontul de undă parcurge aceste neomogenități o parte va fi dispersat difuz. În felul acesta vor ajunge pe pămînt în spatele graniței vizibilității directe. Dar acest rest de undă este de o intensitate extrem de mică, dar cu o oarecare constanță. O astfel de propagare este avantajoasă pentru frecvențe în jur de 500 MHz cînd se realizează legături la distanțe ce ating și 800 km.

Transmisiuni mai stabile se realizează prin dispersie ionosferică la înălțimi de circa 100 km. Sînt favorizate frecvențele între 25 și 60 MHz și se pot acoperi distanțe între 1000 și 2500 km.

25.5.3. Reflexii pe meteoriți

Pămîntul vine în contact cu un număr neînchipuit de mare de meteoriți, de dimensiunile particulelor de praf. Aceștia pătrund în atmosferă cu viteze foarte mari (cca 70 km/s) și ard la înălțimi de 100 — 200 km. Totuși puțini sînt atît de mari încît arderea lor să fie vizibilă. Și mai puțini pot străbate întreaga atmosferă pentru a ajunge pe pămînt. Există meteoriți sporadici cu traiectorii

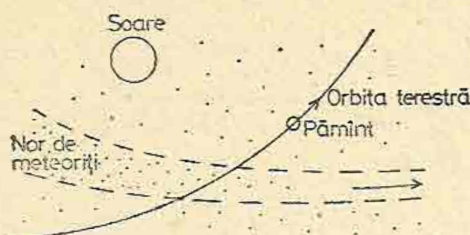


Fig. 25.11. Intretăierea orbitei terestre cu un nor de meteoriți.

întîmplătoare şi viteze diferite. De asemenea există și așa numiții nori de meteoriți care se deplasează în aceleași direcții și cu aceeași viteză.

Meteoriții incandescenți lasă în urma lor nu numai o dîră luminoasă ci și un canal de ionizare. Dîra luminoasă este de scurtă durată dar produce o ionizare intensă care poate provoca reflexia undelor ultrascurte.

Şi în banda de 2 m alocată radioamatorilor este posibilă realizarea comunicațiilor prin reflexie pe, meteoriți și nu întîmplător! Deoarece sînt cunoscute traiectoriile și vitezele de deplasare ale acestor nori de meteoriți se poate afla momentul cînd orbita terestră se intretaie cu orbita meteoriților. Totuși durata acestor transmisiuni abia depăşeşte cîteva secunde şi mai rar maximum 2 minute.

25.5.4. Reflexii pe aurore boreale

Un fenomen optic foarte impresionant este aurora boreală numită și lumină polară care apare la latitudini mari, la latitudini medii apărînd foarte rar.

În jurul aurorelor boreale apare așa numita auroră radio care în timpul perturbațiilor magnetice terestre se extinde pînă în zona temperată și influențează negativ propagarea troposferică a undelor scurte.

Aurorele polare apar ziua și noaptea și au maximumul între orele 01.00 şi 03.00 precum și 17.00 — 19.00 mai ales primăvara și toamna.

Deoarece mediul aurorei radio este puternic ionizat este posibilă reflexia undelor din gama de 2 m. Totuși structura stratului E unde se formează aurorele este foarte neomogenă și are ca urmare o reflexie difuză. Semnalele radio sînt aproape neinteligibile datorită zgomotului și fluierăturilor așa că se poate utiliza numai telegrafia și limitat fonia în SSB.

Deci în martie-aprilie și septembrie-octombrie radioamatorii își îndreaptă antenele către aurorele boreale în speranța realizării de QSO-uri pe 2 m la distanțe neobişnuit de mari.

25.5.5. Reflexia undelor ultrascurte pe Lună şi sateliți

În 1946 s-a reuşit recepția semnalelor emise de o instalație radar și reflectate de suprafața Lunii. În 1960 radioamatorii W6 HB și W1 BU reușesc un QSO prin reflexii pe Lună. Au utilizat antene parabolice și 400 W la emisie pe 1296 MHz, realizînd o legătură pe o distanță de 4320 km. Semnalele radio au pracurs totuși 768 000 km. De atunci s-au încercat legături în benzile de 2 m și 70 cm. Aceste QSO-uri necesită o aparatură de înaltă clasă.

O deosebită importanță o au telecomunicațiile prin sateliții artificiali. Alături de sateliții pentru cercetări științifice au fost lansați sateliți pentru

transmisiuni de televiziune precum Molnia, Telstar, Syncom. De asemeni au fost lansați sateliți artificiali pasivi a căror suprafață metalizată au bune calități reflectante. În sfîrșit sateliții activi au la bord instalații capabile să recepționeze semnale pe o frecvență anume și să le emită spre pămînt pe o altă frecvență.

25.6. Fadingul

În încheiere să prezentăm un fenomen deosebit de frecvent în radiocomunicații — fadingul. Prin aceasta se înțelege variația în timp a intensității cîmpului la recepție. Cauzele fadingului sînt diverse.

În domeniul undelor scurte fadingul apare datorită interferenței semnalelor aceluiași emițător care ajung la receptor pe trasee diferite cu mari variații de fază. Astfel intensitatea cîmpului scade sau crește cu o anume perioadă. Acest fading este numit fading *interferențial*.

Uneori se întîmplă ca nu toate frecvențele dintr-o bandă să se propage uniform și să apară fadingul *selectiv* cînd anume frecvențe purtătoare să scadă atît de mult în intensitate încît la recepție să nu mai fie posibilă demodularea.

Fadingul de *absorbție* se datorește variațiilor de absorbție în stratul D.

De multe ori în ionosferă undele scurte suferă o rotire a direcției de polarizare și apare fadingul de *polarizare*.

Fadingul este un fenomen atît de frecvent încît receptoarele moderne conțin aproape toate dispozitive pentru evitarea consecințelor lui. Fadingurile mici și mijlocii sînt compensate de dispozitivele RAA, Dispozitive eficace există și pentru fadingurile puternice dar acestea sînt destul de greu de construit și reglat și de aceea se întîlnesc numai în receptoarele de trafic de clasă.

Capitolul 26

Antene

După această călătorie prin spațiul atmosferic în urmărirea fronturilor de undă să coborîm din nou pe pămînt și să ne ocupăm de dispozitivul care realizează funcția cea mai neobișnuită din domeniul radiotehnicii — radiația energiei sub formă de cîmp electromagnetic sau captarea energiei dintr-un cîmp electromagnetic de multe ori infim.

Azi nu mai trebuie să subliniem importanța antenei; numărul mare de antene instalate pe acoperișurile caselor dovedește că antena este hotărîtoare pentru calitatea unei transmisiuni radio. Aceasta mai este dovedită și de faptul că una dintre primele întrebări pe care și le adresează radioamatorii într-un QSO este și întrebarea: „Ce antenă folosiți?"

Tehnica antenelor este într-adevăr un domeniu dificil al radiotehnicii, dar conform principiului respectat în această carte vom face numai o introducere în domeniul antenelor nerecurgînd la relații matematice. În acest capitol vom descrie dipolul în semiundă și vom defini parametrii antenelor.

26.1. Dipolul în semiundă

Antena este un dispozitiv cu ajutorul căruia se poate extrage energie dintr-un cîmp electromagnetic (antenă de recepție) sau se poate radia energie sub formă de cîmp electromagnetic (antenă de emisie).

O teoremă de bază în teoria antenelor stabilește că aceeași atenă poate fi folosită atît la emisie cît și la recepție păstrînd aceleași caracteristici.

Cea mai simplă, dar și cea mai răspîndită antenă este dipolul în semiundă care se folosește ca element constitutiv în aproape toate antenele. El servește și ca antenă de referință pentru calculul cîștigului unei antene oarecare.

După cum arată și numele, dipolul în semiundă are lungimea aproximativ egală cu jumătatea lungimii de undă λ corespunzătoare frecvenței de rezonanță a antenei. Denumirea de dipol vine de la faptul că cei doi poli ai antenei se află în mijlocul tijei unde se poate lega cablul de alimentare al antenei conectat în capătul celălalt la emițător sau receptor.

Un conductor liniar prezintă o inductivitate și o capacitate uniform distribuite pe lungimea conductorului. În figura 26.1 este ilustrată o încercare de reprezentare a distribuției inductivităților $L_1 ... L_4$ împreună cu capacitățile $C_1 ... C_4$. Să presupunem că la un moment dat toți condensatorii se încarcă și apoi se descarcă prin inductivitățile din dreptul lor. În felul acesta circulă

un curent care dă naștere unui cîmp magnetic. Deci I_3 este curentul de descărcare al lui C_3 prin L_3, I_2 curentul de descărcare al lui C_2 prin L_2, L_3 și L_4, iar curentul I_1 va parcurge întreg șirul $L_1 ... L_5$. Rezultă că prin mijlocul conductorului circulă cel mai mare curent, iar la capetele lui curentul scade. Circulația curentului dă naștere unui cîmp magnetic care duce la încărcarea capacităților cu polaritate schimbată și procesul se reia în sens invers. Figura 26.1 *c* redă distribuția curentului și a tensiunii într-un dipol în semiundă rezonant. Se observă că între curent și tensiune este un defazaj de 90°, iar tensiunea prezintă la capetele radiatorului un defazaj de 180°. Se spune că în timp ce la mijlocul radiatorului tensiunea are un minim (nod), curentul prezintă un maxim (ventru). La capete situația este inversă.

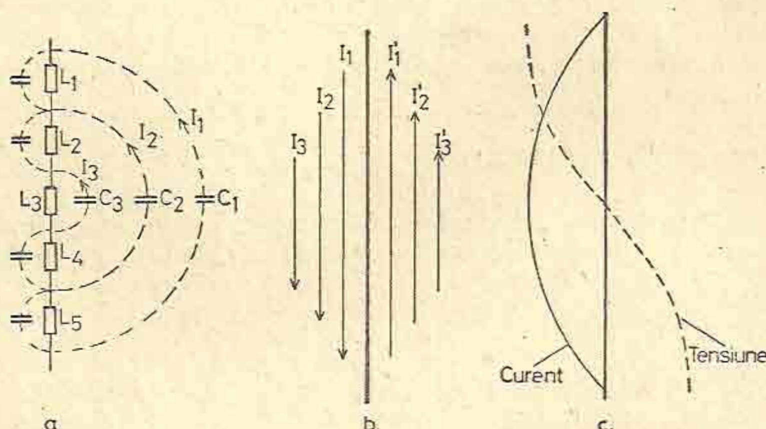


Fig. 26.1. Distribuția curentului într-un radiator în semiundă

Acesta este motivul pentru care dipolii în semiundă se pot fixa cu mijlocul direct geometric pe suportul metalic de multe ori legat la pămînt. Trebuie precizat că tensiunea la mijlocul radiatorului nu este chiar nulă și astfel dipolul are o rezistență de radiație.

26.2. Dipolul rezonant

Dacă un dipol prezintă o inductivitate și o capacitate uniform distribuite pe toată lungimea lui, atunci poate fi asimilat cu un curent oscilant serie. Rezistența R este formată din rezistența de radiație și rezistența de pierderi.

După cum știm acum, un circuit oscilant are o frecvență de rezonanță determinată de relația

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Deoarece inductivitatea și capacitatea unui dipol rezonant depind de dimensiunile sale, acestea vor determina și frecvența de rezonanță. Ca și la circuitul rezonant, factorul de calitate este determinat de raportul L/C (negli-

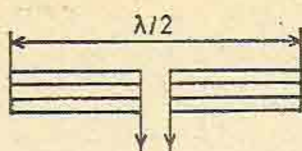


Fig. 26.2 Dipol gros

jind pierderile). Dacă acest raport este mare, antena este de bandă îngustă şi invers dacă L/C este mic, antena este de bandă largă.

Să vedem ce determină lărgimea de bandă a unei antene. Presupunem că un dipol este confecţionat din 3 conductori alăturaţi. Fiind în paralel, capacităţile se vor aduna şi vom avea $3C$, iar inductivităţile vor scădea la $L1/3$. Deci avem un dipol cu inductivitate mică şi capacitate mare — dipol de bandă largă.

Se înţelege că un dipol confecţionat din conductor subţire prezintă o bandă mai îngustă. Pentru o caracterizare mai bună se defineşte raportul λ/d — lungimea de undă / diametrul conductorului care are importanţă mai ales în domeniul UUS deoarece antenele sînt filare. În unde scurte acest raport este foarte mare (peste 5 000) şi nu are însemnătate practică.

26.3. Parametrii antenelor

În continuare vom defini principalii parametri ai antenelor: impedanţa, rezistenţa de radiaţie, directivitatea şi cîştigul, caracteristica de radiaţie

26.3.1 Impedanţa antenei

Pornind de la distribuţia curentului şi tensiunii într-un dipol în semiundă ajungem imediat la noţiunea de impedanţă. Din legea lui Ohm raportul dintre tensiune şi curent este reprezentat de rezistenţă. La o putere dată se poate defini o impedanţă a unui radiator rezonant pentru fiecare punct prin raportul dintre tensiunea şi curentul din acel punct. Numai la rezonanţă această impedanţă este reală şi se comportă ca o rezistenţă pură. În afara rezonanţei mai apare şi o reactanţă capacitivă sau inductivă.

Privind din nou distribuţia curentului şi a tensiunii într-un dipol în semiundă, deducem că în mijlocul dipolului impedanţa este mică → tensiune mică şi curent mare, iar la capete impedanţa este mare → tensiune mare şi curent mic.

În general impedanţa se măsoară în mijlocul antenei şi de aceea este mică (cca 60 ohmi). Teoretic ea poate atinge 73 Ω, dar numai pentru un conductor extrem de subţire (raportul λ/d infinit) şi în plus, antena trebuie să se afle la o distanţă infinită faţă de pămînt. În domeniul undelor scurte şi ultrascurte diametrul conductorului antenei nu poate fi sub 2 mm, şi de aceea impedanţa unui dipol în semiundă este mereu mai mică de 65 Ω.

26.3.2 Rezistenţa de radiaţie

Rezistenţa de radiaţie este o mărime de calcul dedusă din alte mărimi caracteristice ale antenelor. Ea reprezintă rezistenţa artificială pe care ar trebui să se radieze întreaga putere. Rezistenţa de radiaţie este influenţată de înălţimea antenei faţă de pămînt, de natura solului, de clădirile înconjurătoare, precum şi de dimensiunile mecanice ale radiatorului.

Dacă P este puterea radiată şi I_{max} valoarea maximă a curentului din antenă, rezistenţa de radiaţie se calculează cu relaţia

$$R_r = \frac{P}{I^2_{max}}$$

26.3.3 Decibelul

Pentru a înţelege cît mai bine datele caracteristice pe care urmează să le prezentăm, să ne ocupăm de „decibel".

De la început trebuie să precizăm că „decibelul" nu este nici mărime fizică cum ar fi de pildă puterea şi nici unitate de măsură fizică, cum este wattul. Decibelul corespunde unei modalităţi de exprimare indirectă, a raportului în care se află două mărimi fizice de acelaşi fel.

Denumirea a fost adoptată în cinstea lui Alexander Graham Bell (1847—1922), inventatorul telefonului.

Dacă un emiţător produce în antenă 1 W, iar un alt emiţător situat în apropierea livrează 10 W, la recepţie tăria semnalelor măsurate obiectiv cu instrumente va fi în raportul 10 : 1.

Urechea omenească percepe această creştere a tăriei, dar senzaţia subiectivă va fi cu totul diferită de acest raport exprimat în mod direct. Între intensitatea senzaţiei subiective (tăria semnalului auzit) şi intensitatea obiectivă a stimulului excitator (putere electrică) în cască sau difuzor există o legătură ce poate fi exprimată cu ajutorul logaritmilor zecimali astfel:

tăria subiectivă este proporţională cu logaritmul tăriei semnalului
(senzaţie) (stimul)

sau pe scurt: senzaţia este proporţională cu logaritmul excitaţiei.

Deoarece modificările tuturor mărimilor electrice care în final se transformă în difuzor în semnal acustic ce provoacă modificări ale calităţii şi tăriei sunetului perceput, este logic să se facă o exprimare indirectă.

Între două emiţătoare unul de 100 W şi celălalt de 50 W există un raport de putere de 2/1, anticipînd cele ce vor urma, exprimarea acestui raport în decibeli va da numărul 3·

S-a putut constata prin experimente pe un mare număr de subiecţi că o creştere de 3 dB este abia perceptibilă. Variaţiile de putere sub această limită sînt total nesemnificative pentru majoritatea oamenilor cu auz normal. Să presupunem două puteri exprimate în waţi, $P_1 = 1$ W şi $P_2 = 10$ W Raportul între cele două puteri este:

$$k = \frac{P_1}{P_2} = 10$$

Dacă în loc de raport vom exprima valoarea logaritmului său, vom avea posibilitatea să apreciem mult mai uşor ce consecinţe va avea o anume creştere a puterii

$$\log k = \log \frac{P_2}{P_1} = \log P_2 - \log P_1 \log = \log 10 - \log 1 = 1 \text{ Bell}$$

În cuvinte cele de mai sus sună astfel:

Dacă raportul a două puteri (acustice) este de 10 atunci diferența de nivel subiectiv al senzației produse de cele două puteri este 1 Bell. Întrucît din punct de vedere practic o asemenea diferență este mare este mai avantajos să se lucreze cu o unitate de 10 ori mai mică, adică 1 Bell = 10 dBell

Ajungem la definirea noțiunii de decibell (dB) pentru puteri cu următoarea relație

$$1 \text{ dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Pentru curenți și tensiuni formulele sînt

$$1 \text{ dB} = 20 \log \frac{I_2}{I_1} \qquad 1 \text{ dB} = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$$

REȚINEM

— Decibelul nu este o mărime fizică

— Prin decibel se exprimă indirect (logaritmic) valoarea unui raport între două mărimi fizice de același fel.

O creștere (scădere) de 3 dB conduce la o modificare abia perceptibilă a senzației acustice finale.

Cu ajutorul formulelor sau al tabelelor de decibeli putem înțelege expresii ca:

Nivelul puterii de ieșire a crescut cu 3 dB față de situația inițială cînd aveam doar 10 W. Rezultă că avem un raport k = 2, deci noua putere este de 20 W.

Am insistat atît asupra acestor lucruri deoarece noțiunea de decibel este fundamentală pentru toți cei ce se ocupă cu radiotehnica. Deoarece în ultima vreme despre decibeli se discută în cercuri din ce în ce mai largi de nespecialiști, sensul acestei noțiuni a devenit mereu mai misterios, vom mai face cîteva precizări pe care le considerăm utile.

Orice mărime fizică (lungime, greutate, tensiune electrică, rezistență, putere, etc.) exprimă o realitate fizică palpabilă pentru care există cîte o unitate de măsură (metru, kg, Volt, Ohm, Watt) precum și un etalon pentru fiecare. Pentru măsurări sînt necesare aparate de măsură.

Pentru decibel nu există nici etalon nici aparat de măsură deși se aude destul de des cuvîntul „decibelmetru". Ceea ce este astfel denumit este doar un voltmetru a cărei scală este gradată în decibeli, scala ținînd loc de tabel de conversie.

Cu nici un aparat gradat în decibeli nu se măsoară altceva decît tensiuni, puteri, etc. care sînt exprimate față de o mărime de referință aleasă și acceptată internațional. Fără a preciza această mărime de referință tot ce vom afirma este vag și fără conținut.

Cine spune că semnalul cules din antenă are un nivel de 80 dBμ a precizat astfel că mărimea de referință este 1 μV și din tabele se va putea afla exact tensiunea semnalului captat, este care 10 mV. Dar dacă spune că nivelul în antenă a crescut cu 20 dB nu vom înțelege nimic dacă nu a fost precizat nivelul inițial față de care am făcut comparația.

Dăm mai jos un tabel sumar a cîtorva rapoarte de puteri exprimate în decibeli. Tabelul complet al rapoartelor de tensiuni și de puteri este dat în anexă.

dB	P	dB	P	dB	P
0	× 1	1	1,26	11	12,6
+10	× 10	2	1,58	12	15,8
+20	× 100	3	2	13	20
+30	× 1000	4	2,5	14	25
+40	× 10.000	5	3,16	15	31,6
		6	4	16	40
−10	× 1/ 10	7	5	17	50
−20	× 1/ 100	8	6,3	18	63
−30	× 1/ 1000	9	7,95	19	79,5
−40	× 1/10.000	10	10	20	100

Reținem: Dacă puterea unui emițător se dublează se cîștigă 3 dB. Nivelul exprimat în decibeli este o mărime relativă care presupune a fi exprimat totdeauna față de o mărime de referință bine precizată.

26.3.4 Directivitatea și cîștigul antenei

Definim ca radiator izotrop antena care radiază energie în toate direcțiile.

Să ne închipuim o sursă punctiformă de lumină situată în centrul unei sfere de sticlă. Suprafața acestei sfere este luminată uniform de sursa luminoasă, fiecare punct primește aceeași intensitate luminoasă. Din păcate un asemenea radiator nu există decît teoretic și servește ca referință pentru comparații. De aceea deducem imediat că orice antenă construită practic nu poate radia uniform în toate direcțiile spațiului. Fiecare antenă are o direcție favorizată, deci o directivitate. Această directivitate este oglindită de caracteristica de directivitate. Pentru a reprezenta fidel o astfel de caracteristică ar trebui să o reprezentăm tridimensional. Cum așa ceva nu este posibil cu mijloace la îndemînă ne vom mulțumi cu diagrama de directivitate reprezentată în plan vertical și în plan orizontal.

Între caracteristica de directivitate și cîștigul unei antene există o strînsă legătură. Și această legătură se poate înțelege, recurgînd la comparația cu sfera de sticlă. Dacă sursa de lumină este prevăzută cu un reflector, o oglindă parabolică, razele de lumină vor fi concentrate spre o zonă limitată a suprafeței sferei. Dar intensitatea radiației luminoase va fi mult mai mare deoarece toate razele de lumină care iradiau uniform întreaga suprafață a sferei de sticlă sînt acum concentrate pe o suprafață limitată. Intensitatea luminoasă este cu atît mai mare, cu cît radiația este mai concentrată, iar zona

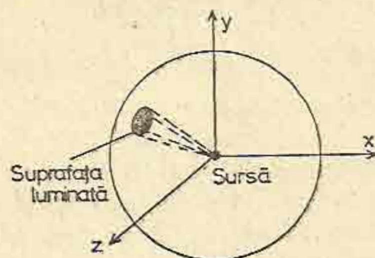


Fig. 26.3. Radiatorul ideal

respectivă va „cîştiga" mai multă lumină. Observăm deci legătura dintre directivitate şi cîştig. Astfel şi cîştigul şi caracteristica de radiaţie exprimă concentraţia radiaţiei într-o anumită direcţie.

26.3.5 Caracteristica de radiaţie

Proprietăţile radiante ale unei antene sînt înfăţişate de caracteristica de radiaţie numită şi caracteristică de directivitate Aceasta reprezintă proprietăţile de radiaţie într-un sistem de coordonate spaţiale.

Pentru nevoile practice se trasează diagramele de directivitate care sînt curbe rezultate prin secţionarea în plan orizontal şi plan vertical prin caracteristica spaţială. O astfel de diagramă se trasează în coordonate polare sau în coordonate rectangulare. Coordonatele polare sînt o reţea de cercuri concentrice şi raze care pornesc din centrul cercurilor. Aceste cercuri marchează nivelele. intensităţii cîmpului radiat (centrului corespunzîndu-i nivelul 0. Direcţia principală de radiaţie (sau de repceţie) este notată cu 0°.

Pe diagrama de radiaţie se pot citi unele date importante ale antenei. Una dintre acestea este unghiul de deschidere, care măsoară unghiul dintre direcţia maximului de radiaţie şi direcţia care intensitatea radiată scade la jumătate din valoarea maximă. Pentru a afla acest unghi, se notează cu 1,0 intensitatea cea mai mare şi se caută de fiecare parte a curbei punctele unde intensitatea scade la 0,7 din valoarea maximă. ($0,7 = 1/\sqrt{2}$ corespunde unei căderi de putere la 50% sau unei scăderi cu 3 dB). Se uneşte centrul cu cele două puncte şi se măsoară unghiul dintre cele două semidrepte. În interiorul acestui unghi puterea radiată nu poate scădea sub 50% din valoarea maximă.

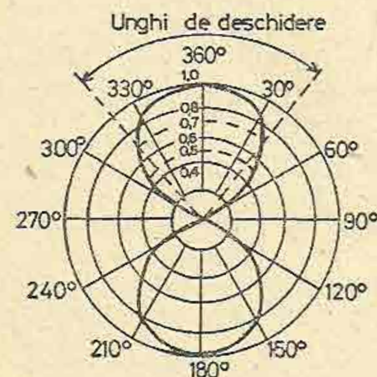


Fig. 26.4. Diagramă de directivitate

O altă mărime care se mai măsoară pe această diagramă este raportul faţă-spate (raportul intensităţilor pe direcţia principală şi la 180°), exprimat în dB. Relaţia de calcul este

$$RFS = 20 \log \frac{U_0}{U_{180^\circ}}$$

Pe diagramă se mai pot citi poziţiile punctelor unde intensitatea este practic nulă. Se determină unghiul format de raza care trece prin acest punct şi direcţia principală de radiaţie.

În afară de lobul principal mai apar şi lobi secundari care de cele mai multe ori sînt nedoriţi deoarece strică directivitatea antenei şi micşorează lobul principal de radiaţie. Pentru aprecierea influenţei lobilor secundari se măsoară atenuarea lobilor secundari care este raportul dintre intensitatea maximă pe direcţia principală de radiaţie şi intensitatea pe direcţia pe un lob secundar. Fiind un raport exprimat logaritmic se dă în dB.

Vom mai adăuga că toate diagramele de directivitate sînt normate, U_{max} notîndu-se cu 1 iar toate celelalte valori ale tensiunii U cu valori subunitare conform raportului U/U_{max}.

26.3.5 Caracteristica de radiaţie a unui dipol în semiundă

Caracteristica de radiaţie a unui dipol în semiundă poate fi reprezentată în spaţiu ca un tor nestrăpuns a cărui axă centrală este însuşi dipolul. Dacă pe direcţia axei se practică o secţiune orizontală se obţine diagrama orizontală, iar dacă secţionăm torul într-un plan perpendicular pe axa dipolului se obţine un cerc cu secţiunea conductorului în centru. Aceasta din urmă este diagrama verticală a unui dipol orizontal în spaţiul liber. Dacă dipolul se dispune vertical, diagrama orizontală va deveni verticală şi invers. De aceea de multe ori apar şi denumirile diagrama în planul E pentru secţiunea pe direcţia liniilor de cîmp electrice şi diagrama în planul H pentru secţiunea pe direcţia liniilor de cîmp magnetic (vezi fig. 26.5). Deoarece dipolul în semiundă are totdeauna direcţia liniilor de cîmp electric E, diagrama din fig. 26.5 va fi mereu diagrama E, iar diagrama din fig. 26.6 va fi diagrama H, indiferent de orientare a dipolului în spaţiu.

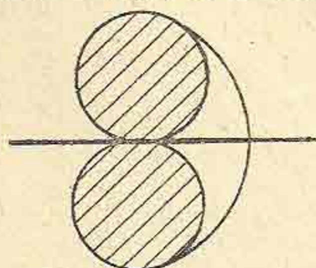


Fig. 26.5. Caracteristica de radiaţie a unui dipol în λ/2 orizontal. Reprezentare spaţială (tor secţionat).

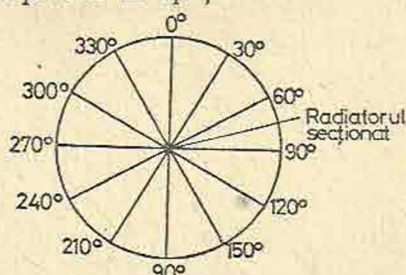


Fig. 26.6. Diagrama verticală a unui dipol în λ/2 orizontal. Planul H.

26.3.6 Influenţa mediului înconjurător asupra caracteristicii de radiaţie a antenelor polarizate orizontal

Pînă aici am vorbit de diagramele de directivitate ale unor antene considerate a fi în spaţiul liber sau cel puţin foarte departe de sol sau alte obiecte. Foarte departe înseamnă cel puţin 5 λ şi dacă pentru o antenă în banda de 2 m înălţimea minimă trebuie să fie de cel puţin 10 m pentru o antenă din banda de 40 m este necesară o înălţare la 200 m, condiţie greu de realizat.

Dacă antena este situată în apropierea solului reflexiile vor influenţa considerabil mai ales rezistenţa de radiaţie şi diagrama de directivitate.

Undele reflectate întîlnesc în drumul lor structura antenei în care induc un curent de mărime şi fază dependente de înălţimea la care este instalată antena. O componentă a acestui curent este determinată de puterea de emisie şi de rezistenţa de radiaţie, iar cea de a doua de unda reflectată de sol către antenă. În funcţie de distanţa dintre antenă şi pămînt aceste două componente sînt mai mult sau mai puţin defazate. Dacă cele două componente

sînt în antifază ele se vor scădea şi curentul prin antena va fi mai mic. Cum puterea transmisă de emiţător este constantă, la variaţia curentului I va corespunde o variaţie a impedanţei după relaţia $P = RI^2$. De aceea impedanţa unei antene din apropierea solului nu corespunde valorii teoretice.

În figura 26.7 se poate vedea influenţa pe care o are solul asupra unui dipol în semiundă în funcţie de înălţimea de instalare relativă faţă de lungimea de undă. Dacă unda directă şi cea reflectată sînt în fază lobii suferă o multiplicare ce pe diagrama verticală poate ajunge la maxim 2.

Datorită reflexiilor apar mai mulţi lobi principali care se ridică în sus. Unghiul format de direcţia punctului de maxim cu orizontala pămîntului se numeşte unghi de elevaţie.

Să privim figura 26.7. Unghiul de elevaţie al dipolului ridicat la o înălţime egală cu λ/2 este 30° iar factorul de multiplicare 2. La 0° şi 55° factorul de multiplicare este 1.

Pentru ar înţelege importanţa unghiului de elevaţie să ne reamintim de cele învăţate la capitolul despre propagare: legăturile DX nu se pot realiza decît cu condiţia reflexiilor pe ionosferă. Acum ştim că odată cu creşterea frecvenţei condiţia de reflexie este ca unghiul de incidenţă pe stratul ionizat să fie cît mai mic, deci şi la sol un unghi de elevaţie corespunzător. De aceea trebuie să respectăm anumite limite pentru acest unghi în funcţie de frecvenţa utilizată

Banda 40 m 12°—40°
Banda 20 m 10°—25°
Banda 15 m 7°—20°
Banda 10 m 5°—14°

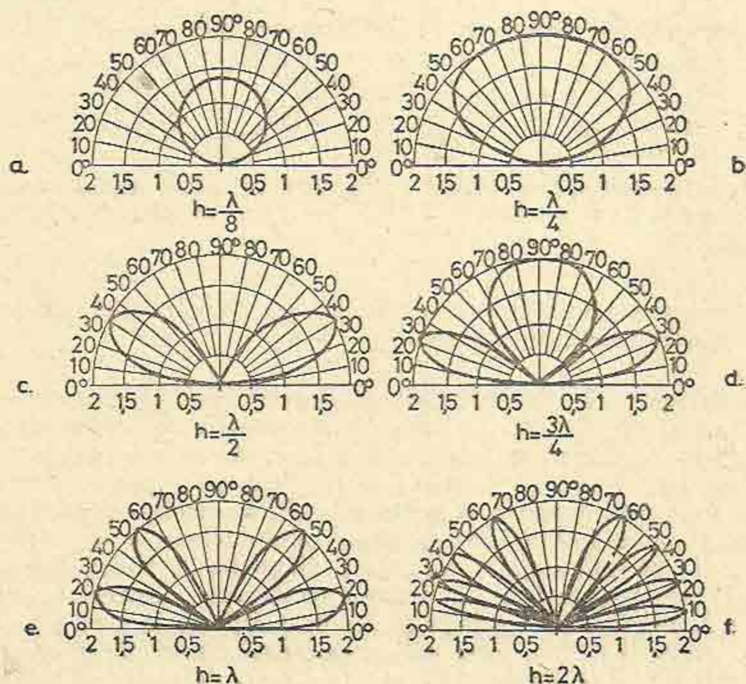


Fig. 26.7. Influenţa solului asupra caracteristicii de radiaţie a unui dipol în λ/2 instalat la diferite înălţimi.

Din datele de mai sus deducem că dacă vom emite cu un unghi mai mare de 40° sau mai mic de 5° nu vom realiza nici un DX. Desigur în funcție de condițiile de propagare variază și unghiul optim de elevație. De aceea pentru benzile de 10, 15 și 20 m înălțimea antenei trebuie să fie de cel puțin 12 m, iar pentru banda de 40 m să nu fie mai mică de 15 m. Aceste înălțimi minime sînt valabile în condițiile unei vecinătăți libere de obstacole. Obiectele reflectante din apropierea unei antene coboară înălțimea efectivă a unei antene și provoacă modificări greu previzibile ale caracteristicii de radiație. Antenele polarizate orizontal sînt influențate mai ales de firele electrice, jghiaburile de scurgere ale acoperișurilor și conductorii orizontali ai paratrăznetelor. Influența acestora poate fi neglijată dacă întinderea lor este mai mică decît jumătatea lungimii de undă de lucru. De exemplu antenele de televiziune nu au nici o influență asupra caracteristicii de radiație a antenelor de emisie de unde scurte. Dar antenele polarizate vertical sînt influențate de obiectele metalice verticale de felul pilonilor metalici.

Trebuie să reținem că toate antenele polarizate orizontal au un unghi de elevație similar dipolului în semiundă dacă sînt ridicate la o aceeași înălțime relativă față de sol. Deosebirea apare numai la factorul de multiplicare al unor lobi.

26.3.7 Cîștigul unei antene

Cîștigul este unul dintre cei mai importanți parametri ai unei antene. Acesta se poate defini în mai multe feluri: ca factor de directivitate numit și cîștig de radiație, drept cîștig în intensitate de cîmp sau în tensiune și, în sfîrșit, drept cîștig al antenei sau cîștig în putere.

Cîștigul fiind o mărime de comparație, mărime relativă, trebuie avută în vedere mereu o referință. Știm că temperaturile se măsoară cu ajutorul mai multor scări de temperatură printre care scara Celsius și scara Fahrenheit. Punctul de referință al fiecăreia este temperatura de înghețare a apei, 0° pentru scara Celsius, 32° pentru Fahrenheit. Fără specificația acestor referințe indicația de ex. 72° nu are nici un sens. De aceea se notează 72°C sau 72° F.

De aceea și pentru antene au fost alese trei antene de referință.

Prima este *Radiatorul izotrop*. Acesta este un radiator teoretic punctiform cu o caracteristică de radiație sferică. Radiația sa este uniformă în toate direcțiile. Se consideră că nu are cîștig și nici directivitate.

Dipolul elementar este numit și dipolul lui Hertz. Acesta este un radiator cu o distribuție de curent omogenă cu o polarizare și o directivitate definită. Acest dipol este totuși realizabil și are un cîștig de 1,76 dB față de radiatorul izotrop.

Dipolul în semiundă (Dipol în $\lambda/2$) este un radiator fără pierderi, autorezonant și cu o distribuție de curent sinusoidală. Este destul de greu de realizat deoarece trebuie să fie gros pentru a nu avea pierderi și subțire datorită distribuției de curent sinusoidale.

Pentru măsurători se utilizează dipolul îndoit în semiundă pentru UUS, dipolul extensibul pentru FIF/UIF și antena horn standard pentru domeniul GHz.

Cîştigul unei antene G este produsul dintre coeficientul de Directivitate D şi randamentul antenei

$$G = \eta D$$

unde η este raportul dintre puterea radiată de antenă şi puterea totală care vine de la emiţător; D arată de cîte ori trebuie mărită puterea unui emiţător lucrînd cu o antenă izotropă pentru a obţine aceeaşi intensitate la recepţie radiată de acelaşi emiţător cu o antenă directivă.

Acest mod de a defini cîştigul are avantajul că include şi pierderile.

Un alt mod de definiţie al cîştigului este

$$G = \frac{\text{Densitatea maximă de radiaţie a antenei de măsurat}}{\text{Densitatea maximă de radiaţie a antenei de referinţă}}$$

Dacă se înlocuieşte cu raportu intensităţilor cîmpurilor sau tensiunilor de recepţie, la pătrat, se obţine pentru cîştig expresia

$$G = \left(\frac{U_A}{U_B}\right)^2$$

Deoarece tensiunea de la intrarea roceptorului U este proporţională cu intensitatea cîmpului E formula devine

$$G = \frac{\text{Puterea în antena de referinţă } B}{\text{Puterea în antena de măsurat } A}$$

sau

$$G = \frac{P_A}{P_B}$$

unde P_A şi P_B sînt puterile introduce în antene la emisie pentru ca la recepţie să se obţină aceeaşi intensitate de cîmp. Se va observa ordinea inversă a literelor A şi B din cele două formule. Deoarece se pot crea confuzii în privinţa cîştigului în tensiune sau în putere se utilizează curent logaritmul raportului puterilor

Dacă pentru valorea 2 a cîştigului G se pot înţelege două lucruri (cîştigul în putere 2 corespunde unui cîştig al antenei de 3 dB aceluiaşi cîştig 2 în tensiune in corespunde un cîştig al antenei de 6 dB) pentru cîştigul antenei dat în dB există numai un înţeles. Calculul în decibeli are avantajul că valorile se adună sau se scad.

$$g = 10 \log G$$

Deci dacă o antenă are un cîştig de 10 dB şi pe cablu se pierd 4 dB atunci întreaga instalaţie are un cîştig de $10 - 4 = 6$ dB

Am acordat atîta spaţiu prezentării cîştigului antenelor mai ales datorită faptului că acest parametru intră cel mai adesea în discuţiile radioamatorilor despre antene şi din păcate de multe ori fără a se mai ţine cont de semnificaţia sa.

Să sistematizăm în încheiere noțiunile.

Cîștigul unei antene este dependent de directivitatea acesteia. Dacă puterea radiată crește pe o direcție favorizată aceasta este posibil numai dacă pe alte direcții puterea scade.

Creșterea cîștigului se realizează prin îngustarea unghiului de deschidere Cîștigul unei antene este proporțional cu dimensiunile antenei în raport cu lungimea de undă. Cîștigul se mărește prin adăugarea de directori, reflectori sau prin grupare mai multor antene. Altfel spus antenele mari au cîștig mare, iar cele mici cîștig mic.

În încheiere cîteva reguli:

1. Antena standard de referință este radiatorul izotrop. Cîștigul ei este 0 dB.

2. Cîștigul lui dipol în semiundă față de un radiator izotrop este 2,1 dB.

3. Cîștigul în putere al unei antene cu un reflector și un director este 5 dB față de cîștigul radiatorului însuși.

4. Mai mulți directori duc la creșterea cîștigului, dar din ce în ce mai puțin. Un al doilea director mai aduce 2 dB iar următorii trei cîte 1 dB. Peste 5 directori cîștigul este neînsemnat

O regulă simplă: Dacă puterea emițătorului se dublează se cîștigă 3 dB. Același efect se obține cu o antenă cu un cîștig de 3 dB.

Capitolul 27

Linii și cabluri

O antenă nu poate fi conectată direct la ieșirea unui emițător și nici la intrarea unui receptor. Pentru transportul energiei de radiofrecvență de la emițător la antenă sau de la antenă de recepție la receptor se folosesc liniile de alimentare numite și fideri.

Condiția de calitate a unei astfel de linii este ca transportul de energie să se facă fără pierderi însemnate. De asemeni o linie nu trebuie să radieze nici să capteze energie. O linie care radiază va crea pierderi suplimentare deoarece energia radiată va fi absorbită de corpurile învecinate. Aceasta duce la deformarea caracteristicii de radiație a antenei și implicit la reducerea eficacității ei. Dacă fiderii antenelor de recepție vor capta energie perturbare (paraziți) calitatea recepției se va înrăutăți.

Liniile de alimentare ale antenelor sînt de regulă formate din două conductoare paralele. Proprietățile fizice ale liniilor sînt determinate de dimensiunile conductoarelor precum și de calitățile dielectricului din jurul conductoarelor.

27.1. Impedanța caracteristică

Parametrul principal al liniilor de transmisiuni este *impedanța caracteristică*. Ea este aceeași în tot lungul unei linii și se poate exprima ca raportul dintre tensiunea U și curentul I pe o linie infinită.

O linie poate fi reprezentată ca un circuit cu constante distruibuite uniform. Fiecare porțiune de linie prezintă o inductanță longitudinală și o capacitate transversală. Circuitul echivalent este redat în fig. 27.1 — Dacă nu se ține seama de pierderile care pot apare impedanța caracteristică Z_c se calculează cu relația:

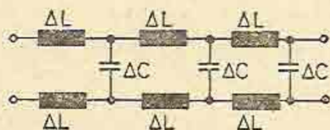


Fig. 27.1. Schema echivalentă a unei linii bifilare.

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}\ [\Omega] \quad (27.1)$$

Dacă Z_c este reală impedanța caracteristică nu depinde de frecvență sau de lungimea liniei. Din egalitatea de mai sus rezultă că pentru un L mare se obține o impedanță caracteristică mare iar pentru o capacitate mare o impedanță caracteristică mică. Practic — conductoarele subțiri au o inductanță L mare și pentru o distanță mai mare între ele (C mică) vor determina o impedanță

caracteristică mare. Din contră pentru conductoare groase (L mic) şi distanţă mică între ele (C mare) vor determina o impedanţă caracteristică mică.

Reţinem: Impedanţa caracteristică a unei linii este determinată în principal de diametrele conductoarelor şi de distanţa dintre ele.

Cum de regulă liniile de transmisiuni sînt formate din conductoare paralele (linii bifilare) sau concentrice (cabluri coaxiale) vom avea două relaţii de determinare a impedanţei caracteristice.

Pentru linii bifilare

$$Z_c = 276 \lg \frac{2D}{d} \qquad (27.2)$$

iar pentru cabluri coaxiale

$$Z_i = 138 \lg \frac{D}{d} \qquad (27.3)$$

unde D şi d au semnificaţiile din figura 27.2.

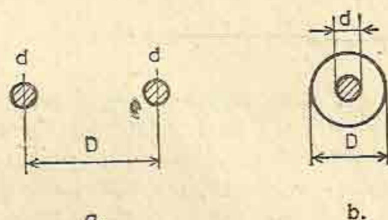


Fig. 27.2. Secţiune într-o linie bifilară (*a*) şi un cablu coaxial (*b*).

În aceste relaţii s-a considerat că dielectricul dintre conductoare este aerul (constanta dielectrică a aerului $\varepsilon = 1$) Liniile de transmisiuni produse industrial au conductoarele introduse în materiale izolante cu o constantă dielectrică mai mare decît a aerului $\varepsilon > 1$.

În felul acesta impedanţa caracteristică a unui linii bifilare devine

$$Z_c = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon_r}} \lg \frac{D}{d} \qquad (27.4)$$

Exemplu O linie bifilară formată din conductoare de cupru cu un diametru de 2 mm, situate la distanţa $d = 1{,}41$ cm, într-o bandă de policrorură de vinil ($\varepsilon_v = 3$) are impedanţa caracteristică

$$Z_c = \frac{276}{\sqrt{3}} \lg \frac{1{,}41}{2} = 159{,}6 \cdot 1{,}505 = 240$$

Iar pentru cabluri coaxiale impedanţa caracteristică se calculează cu relaţia

$$Z_c = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}} \lg \frac{D}{d} \qquad (27.5)$$

Exemplu: Un cablu coaxial care este format dintr-un conductor central de cupru cu diametrul de 0,5 mm şi dintr-un conductor exterior de diametru 3,75 mm umplut cu policlorură de vinil ($\varepsilon_r = 3$) are o impedanţă caracteristică:

$$Z_c = \frac{138}{\sqrt{3}} \lg \frac{3{,}75}{0{,}5} 79{,}7 \cdot 0{,}877 = 70 \ \Omega$$

Trebuie să reţinem că în practică liniile bifilare au impedanţe caracteristice mari (sute de Ohmi) iar cablurile coaxiale au impedanţe caracteristice mici (sub 100 Ω).

Impedanţa caracteristică nu se poate determina cu mijloace simple precum voltampermetrul. Dacă avem la îndemînă o punte LC putem afla

impedanța caracteristică a unui cablu sau unei linii bifilare. Se întinde un tronson de cablu cît se poate de lung și se măsoară la un capăt capacitatea dintre firul central și manta. Apoi se scurtcircuitează cablul la celălalt capăt și se măsoară inductanța L. Valorile măsurate se înlocuiesc în relația 27.5. La fel vom proceda și cu o linie bifilară dar va fi nevoie ca banda bifilară să fie cît mai bine degajată față de corpurile metalice.

27.2. Linii bifilare

Cea mai ieftină, dar și cea mai lipsită de pierderi este linia bifilară cu dielectric aer. Radioamatorii folosesc această linie în unde scurte și o construiesc singuri. Cele două conductoare sînt distanțate la cca 8—20 cm cu ajutorul unor distanțiere din polistiren, ebonită, lemn fiert în parafină montate la intervale egale. Ceea ce rezultă are denumirea de *feeder* denumire care s-a extins și la celelalte linii de alimentare a antenelor.

Pentru a construi o linie cu o anumită impedanță caracteristică se determină raportul D/d în funcție de valoarea lui Zc. Vom utiliza diagrama din fig. 27.3. Din motive mecanice impedanța caracteristică a unei linii astfel construite se limitează la 500... 600 Ω. Pentru valori mai mici distanțierele sînt prea scurte și apare pericolul ca cele două conductoare să se scurtcircuiteze.

Liniile bifilare de calitate mai bună au puntea din polietilenă dar au o durată de viață scurtă. Starea vremii și variațiile de temperatură, razele ultraviolete duc la îmbătrînirea dielectricului și impun schimbarea liniei la doi ani.

Apoi depunerile de murdărie, bruma și chiciura influențează negativ impedanța caracteristică și vor duce la creșterea pierderilor. Impedanța caracteristică este influențată și de apropierea maselor metalice și de aceea trebuie luate măsuri de instalare distanțată a liniei.

O îmbunătățire a calităților unei linii în comparație cu o bandă bifilară o constituie linia simetrică în tub de polietilenă. Stabilitatea este îmbunătățită iar influența factorilor externi este mai mică. La montarea unei astfel de linii vom acorda o atenție deosebită punctelor de conexiune care rămîn în aer liber și vor trebui bine izolate.

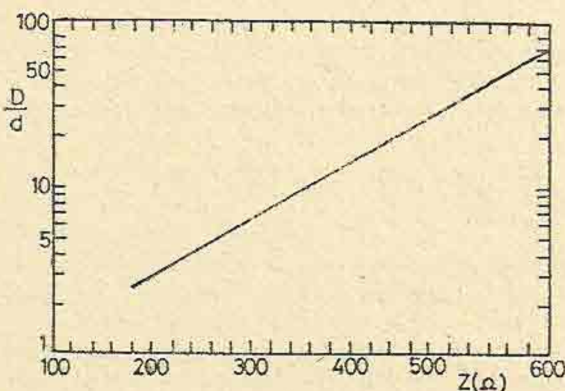
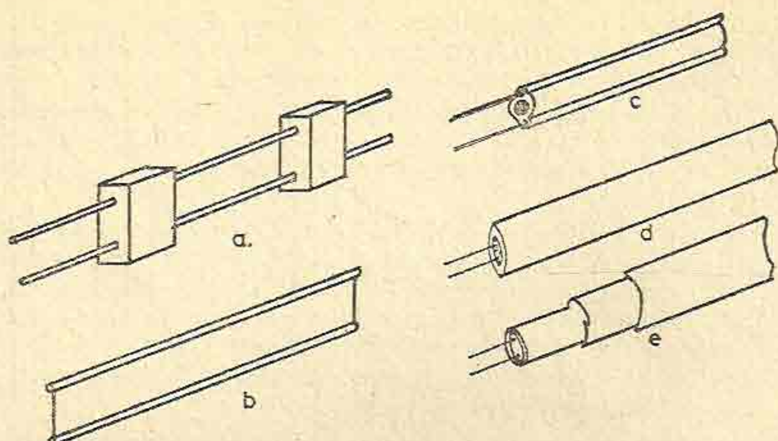


Fig. 27.3. Impedanța caracteristică a unei linii bifilare în scăriță.

Fig. 27.4. Linii simetrice.



O altă îmbunătățire a liniilor simetrice este linia cu miez de polietilenă celulară. Această linie păstrează multă vreme calitățile electrice și are o stabilitate mecanică bună. O astfel de linie poate fi utilizată și în domeniul UIF.

Cea mai bună formă de prezentare este linia simetrică în tub de polietilenă celulară ecranată suplimentar. Această linie corespunde tuturor exigențelor și se poate instala fără dificultăți. Ecranul din împletitură de sîrmă elimină aproape complet perturbațiile. Linia bifilară ecranată are impedanța caracteristică între 120 și 240 Ω, o atenuare mai mare și un preț relativ ridicat. De cele mai multe ori liniile cele mai scumpe sînt și cele mai bune.

27.3. Cabluri coaxiale

În figura 27.5 este dată o vedere de ansamblu a cablurilor coaxiale. Un astfel de cablu are în interior un conductor de cupru masiv sau lițat. În jurul acestui conductor este depus un dielectric din masă plastică cu calități izolante foarte bune peste care este dispus conductăroul exterior format din ecran lițat. Conductorul exterior este acoperit la rîndul său de o cămașă izolatoare în scopul protejării cablului față de influențele mediului înconjurător. Cămașa exterioară este de obicei din PVC sau polietilenă. Există și cabluri care au mai multe învelișuri, ecran și dielectric și sînt destinate unor cerințe înalte.

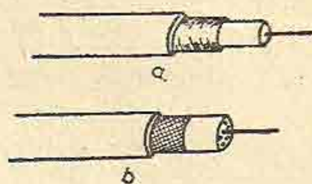


Fig. 27.5 Cabluri coaxiale: *a*) cu dielectric compact; *b*) cu dielectric spongios

În cel mai simplu caz dielectricul este compact. Cablurile moderne au un dielectric ce păstrează un spațiu gol. Prin aceasta se îmbunătățesc proprietățile electrice, dar trebuie să fim foarte atenți la etanșarea sa.

Un cablu foarte bun are dielectricul din polietilenă spongioasă, iar conductorul exterior este o folie metalică sudată longitudinal. Acest cablu îndeplinește și cele mai înalte exigențe.

Liniile de transmisiuni sînt influențate cel mai mult de motoarele cu aprindere prin scîntei. Cablurile coaxiale sînt rezistente la perturbații mai ales cablurile fără spații libere în ecran.

Cablurile coaxiale se recomandă necondiționat în domeniile FIF și UIF. De asemenea trebuie să reținem că în principiu cablul al cărui conductor intern este masiv are pierderile mai mici decît un cablu al cărui conductor intern este lițat.

Vom alege mereu un cablu mai gros cu diametrul între 5 și 10 mm. Trebuie amintit că atenuarea unui cablu crește odată cu creșterea frecvenței. Toate cablurile coaxiale au o variație a atenuării aproape identică. În schimb liniile simetrice neecranate prezintă o creștere foarte pronunțată o dată cu creșterea frecvenței și dependent de condițiile meteorologice.

Utilizarea cablurilor coaxiale oferă avantaje serioase dar apare necondiționat problema adaptării și simetrizărilor.

În general, antenele cu dipoli au o structură simetrică și este nevoie de dispozitive care să realizeze atît simetrizarea cablurilor cît și adaptarea corectă a impedanțelor caracteristice. Aici vom spune doar că liniile simetrice au impedanțele caracteristice între 240 Ω și 300 Ω iar cablurile coxiale impedanțe caracteristice între 50Ω și 75 Ω. În țara noastră sînt standardizate cabluri de 50 Ω și 75 Ω, în alte țări existînd și alte valori precum 60 Ω sau 70 Ω. Despre simetriazări și adaptări vom trata într-un capitol separat.

27.4. Atenuarea liniilor de radiofrecvență

Spre deosebire de impedanța caracteristică, atenuarea liniilor de radiofrecvență crește odată cu frecvența.

Din cauza efectului pelicular (circulația curenților de radiofrecvență la suprafața conductorilor) reuistența longitudinală a conductorilor unei linii RF este este sensibil mai mare decît rezistența lor în curent continuu. Firmele producătoare oferă mai întotdeauna curbele atenuărilor pe suta de metri la diferite frecvențe. Acestea sînt date în dB/100 m. În cazul unor linii lungi este bine să facem un bilanț energetic al instalației de antenă pentru a nu avea surpriza unor pierderi prea mari.

27.5. Distribuția tensiunii pe liniile de radiofrecvență

Condiție de bază care trebuie îndeplinită pentru o linie de radiofrecvență este transferul maxim de putere. Aceasta se poate realiza dacă este respectată condiția de adaptare: rezistențe internă R_i a generatorului (etajul final al emițătorului) este egală cu impedanța caracteristică Z_c a liniei și ca rezistența de sarcină R_a a consumatorului (impedanța de intrare a antenei). Deci:

$$Z_c = R_i = R_a$$

Spunem că s-a realizat adaptarea. În acest caz pierderile se limitează la pierderile în cupru și în dielectric iar tensiunea și curentul se distribuie uniform de-a-lungul liniei.

Dacă se îndepărtează rezistența de sarcină linia rămîne în gol ($R_a = \infty$) În acest caz energia debitată de emițător nu are consumator și va fi reflectată înapoi. Pe linie apare o undă directă și o undă reflectată. În lungul liniei se distribuie punct de maxim și minim ale tensiunii, la capătul în gol fiind totdeauna un maxim. Aici nu poate circula un curent și deci aici curentul va fi nul. Acolo unde avem un maxim de tensiune vom avea un minim de curent și invers, curentul și tensiunea fiind decalate cu 90°. Această distribuție a tensiunii și curentului pe o linie este numită cu termenul de *unde staționează*. Undele staționare apar ori de cîte ori unda reflectată este importantă ca mărime.

Pentru o linie se definește *raportul de undă staționară* ca raportul dintre tensiunea maximă și tensiunea minimă

$$s = \frac{U_{max}}{U_{min}}; \; s \geqslant 1$$

Valoarea sa este întotdeauna egală sau mai mare decît unitatea. În cazul adaptării apare o undă progresivă și nici o reflexie și deci $s = 1$.

Se mai definește și *factorul de adaptare* care este inversul factorului de undă staționară

$$m = \frac{U_{min}}{U_{max}} = \frac{1}{s}$$

Să presupunem acum că scurtcircuităm capătul liniei ($R_a = 0$). Față de linia în gol maximele și minimele se vor deplasa cu $\lambda/4$ și deci la capăt vom avea tensiune nulă.

Stările de gol și de scurtcircuit sînt stări extreme, dar să vedem ce se întîmplă, cînd linia se închide la un capăt cu R care nu este nici nulă nici infinită.

Dacă $R_s > Z_c$ o parte din energie este absorbită de această sarcină și numai un rest se reflectă înapoi provocînd unde staționare. Factorul de undă staționară este mult mai mic decît în cazul liniei în scurt sau în gol și nu mai apar puncte de nul.

Pentru $R_s < Z_c$ la capătul liniei vom avea un minim de tensiune spre deosebire de cazul $R_s > Z_c$ cînd avem un maxim de tensiune.

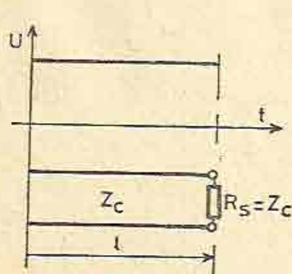


Fig. 27.6. Distribuția tensiunii pe o linie adaptată.

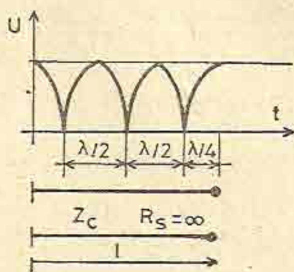


Fig. 27.7. Distribuția tensiunii pe o linie în gol $R_s = \infty$

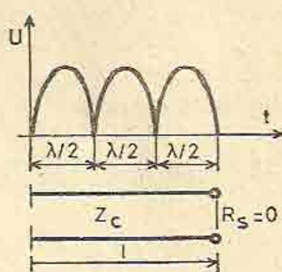


Fig. 27.8. Distribuția tensiunii pe o linie în scurt circuit $R_s = 0$

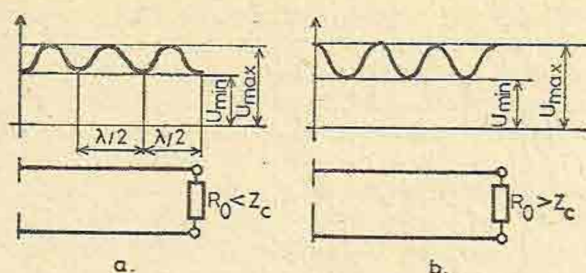


Fig. 27.9. Distribuţia tensiunii pe o linie neadaptată: a) $R_s < 10$; b) $R_s > 10$.

Pentru o linie terminată pe o rezistenţă de sarcină R_a pur chimică (fără componente reactive) se defineşte factorul de reflexie

$$r = \frac{R_s - Z_c}{R_s + Z_c}$$

Dacă $R_s > Z_c$ Factorul de reflexie este pozitiv, iar pentru $R_s < Z_c$ este negativ.

Între factorii s, r şi m există relaţiile:

$$s = \frac{1+r}{1-r} \text{ şi } m = \frac{1-r}{1+r}$$

Pentru a înţelege mai bine să luăm cîteva exemple numerice

Problemă:

O linie bifilară are $Z_c = 300\Omega$ şi alimentează o antenă cu o rezistenţă la bază $R_a = 600\Omega$. Să calculăm factorul de reflexie r

$$r = \frac{600 - 300}{600 + 300} = \frac{300}{900} = \frac{1}{3}$$

Unda reflectată are o amplitudine de trei ori mai mică şi aceeaşi polaritate cu unda directă

Să presupunem acum că $R_a = 60\Omega$. Factorul de reflexie r este:

$$r = \frac{60 - 300}{60 + 300} = \frac{-240}{360} = \frac{-2}{3}$$

În acest caz amplitudinea undei reflectate este 66% din cea a undei directe şi are o polaritate inversă.

Să vedem ce se întîmplă în cazul adaptării $R_s = Z_c = 300\Omega$

$$r = \frac{300 - 300}{300 + 300} = 0$$

Aceasta înseamnă că nu avem undă reflectată.

Pînă acum am presupus că linia s-a închis pe o rezistenţă pură, dar în realitate mai apar şi sarcini care în afara părţii rezistive mai prezintă şi reac-

tanță pozitivă (inductanță X_L) sau negativă (Capacitate X_c). Astfel de situație apare cînd antena nu rezonează pe frecvența emițătorului. Adaptarea se realizează modificînd lungimea antenei sau compensînd reactanța sa capacitivă cu o inductanță corespunzătoare și invers.

27.6. Alimentarea antenelor

Radioamatorii utilizează două moduri de alimentare a antenelor alimentare prin linie acordată și alimentare prin linie adaptată. Uneori este nevoie să se realizeze o alimentare maxită.

În domeniul UUS se lucrează exclusiv cu linii adaptate, iar în domeniul undelor scurte cu linii de alimentare acordate.

27.6.1. Linii adaptate

Dacă pe linia de alimentare este îndeplinită condiția de adaptare tensiunea și curentul se distribuie uniform pe întreaga linie. Deoarece nu apar nici noduri nici ventre, linia adaptată nu are limită de lungime. Dar la cablurile coaxiale apare atenuarea dependentă de frecvență, iar la liniile bifilare pierderile prin radiație.

În liniile adaptate se propagă așanumita undă progresivă. Dacă facem mici erori de adaptare apar într-o măsură mai mare sau mai mică undele staționare. Pentru radioamatori un factor de undă staționară $s = 2$ este acceptabil. Compensarea erorilor de adaptare îi vom trata în capitolul următor.

27.6.2 Linii acordate

Pe o linie care nu este terminată pe impedanța caracteristică apar unde staționare. Maximele de curent și de tensiune sînt decalate în fază. Pentru fiecare punct există un raport tensiune/curent egal cu impedanța caracteristică. Diferența de fază se datorește faptului că în afara rezistenței chimice există și componente inductive X_L sau capacitive X_c care determină sensul defazajului.

Variația impedanței caracteristice se poate reprezenta în funcție de lungimea de undă λ. Nodurile de tensiune și curent se succed la intervale de $\lambda/4$. Definim astfel o linie acordată dacă are o lungime egală cu un multiplu întreg de $\lambda/4$ (de exemplu $3\lambda/4$).

În figura alăturată este reprezentată distribuția tensiunii și a curentului pe o linie bifilară de lungime $\lambda/2$. Se observă că prin cele două conductoare curentul, circulă în sensuri contrare, dovedită și de poziția ventrelor de curent. Cîmpurile create de ele cresc în sens contrar și astfel linia radiază în exterior cu atît mai puțin cu cît distanța dintre conductoare este mai mică.

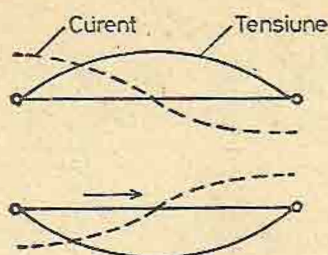


Fig. 27.10. Unde staţionare într-o linie bifilară cu lungimea λ/2.

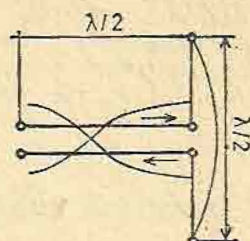


Fig. 27.11. Alimentarea antenei cu o linie acordată.

Cum ştim, impedanţa caracteristică a unei linii este proporţională cu distanţa dintre conductoare. De aceea o linie cu impedanţă mică (interval mic) va radia mai puţin decît o linie cu impedanţă mare (interval mare).

Se mai poate deduce că la intrare şi ieşirea unei linii în λ/2 avem mereu aceeaşi impedanţă, sau altfel spus impedanţa de intrare a antenei va fi transmisă în raportul 1:1 la celălalt capăt al liniei.

REŢINEM: *Antena conectată la capătul unei linii în λ/2 nu trebuie să fie adaptată deoarece impedanţa sa se transmite integral la celălalt capăt unde se pot lua măsuri simple de adaptare a etajului final al emiţătorului sau a circuitului de intrare al receptorului.*

În figura 27.11 dipolul şi linia de alimentare au aceeaşi frecvenţă de rezonanţă iar impedanţa dipolului se resimte cu aceeaşi valoare la celălalt capăt a liniei. Acolo va trebui adaptată impedanta de ieşire a emiţătorului.

Despre adaptarea antenelor şi cuplarea lor vom trata în capitolul următor.

Capitolul 28

Adaptarea și simetrizarea

După ce ne-am ocupat de antene și linii de alimentare să vedem acum care sînt măsurile care se pot lua pentru adaptarea liniilor la impedanța antenelor.

Pentru liniile acordate nu este nevoie de nici un procedeu deoarece ele însele sînt un mijloc de adaptare.

Cel mai simplu este să alegem linia de alimentare cu o impedanță caracteristică egală cu impedanța de intrare a antenei și nu ne mai rămîne decît să realizăm adaptarea la celălalt capăt a liniei, spre emițător, sau receptor.

Atunci cînd impedanțele sînt diferite se utilizează procedeele de adaptare în T, în Δ sau în Ω.

28.1. Dispozitivul de adaptare în T

Acest dispozitiv se folosește pentru adaptarea liniilor paralele el, însuși fiind simetric (fig. 28.1). Liniile de adaptare formate din două tije metalice sînt prinse cu bride de un tub radiator care se fixează cu contact galvanic

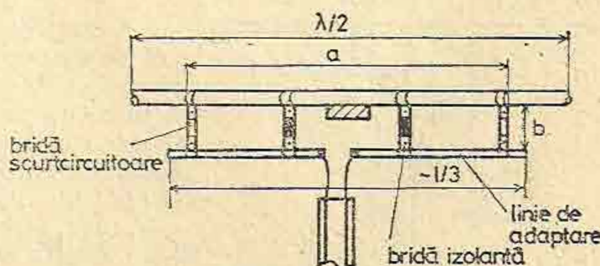


Fig. 28.1. Dispozitiv de adaptare în T.

de traversa antenei. Linia de alimentare simetrică (240—600 Ω) se cuplează la cele două linii de adaptare. Dimensiunile calculate pentru fiecare bandă alocată radioamatorilor sînt date în tabelul de mai jos.

Banda (MHz)	a mm	b mm	d_1 mm	d_2 mm	C_1 pF	C_2 pF
14	3940	20,7	1700	850	150	35
21	2620	139	1200	650	80	30
28	1960	103	800	400	50	40
144	400	50	150	—	35	—

Bridele externe sînt metalice iar celelalte sînt izolate. Nu trebuie uitat că diametrul conductorului liniar de adaptare trebuie să fie de trei ori mai mic decît diametrul radiatorului.

Impedanţa maximă pe radiator se află la jumătatea distanţei dintre traversa şi capetele radiatorului.

28.2. Dispozitivul de adaptare în Gamma

Acest dispozitiv se utilizează pentru adaptarea antenelor directive simetrice (avînd impedanţa mică, 20—40 Ω) la cablurile coaxiale. De fapt este acelaşi dispozitiv de adaptare în T secţionat pe jumătate. Tresa cablului se sudează la mijlocul radiatorului, iar firul central se conectează la statorul unui condensator variabil al cărui rotor este conectat la linia de adaptare. Adaptarea optimă se caută prin deplasarea bridei de scurtcircuitare pînă se obţine un minim al undei reflectate. Cu ajutorul condensatorului variabil se caută o compensare a componentelor reactive. La construcţia acestui dispozitiv se va căuta să se realizeze o protecţie bună faţă de intemperii a condensatorului variabil.

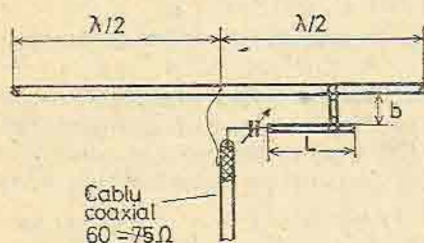


Fig. 28.2. Dispozitiv de adaptare în Gama.

28.3. Dispozitiv de adaptare în Omega

După cum se vede din figură dispozitivul de adaptare în Omega nu diferă prea mult de cele precedente. Acesta oferă avantajul că nu mai trebuie reglat prin deplasarea bridei scurtcircuitoare ceea ce era destul de anevoios şi periculos de realizat la înălţime. Adaptarea optimă se realizează prin reglajul celor doi condensatori variabili. După realizarea adaptării condensatorii variabili se pot înlocui cu condensatori ficşi care au valoarea realizată la acord.

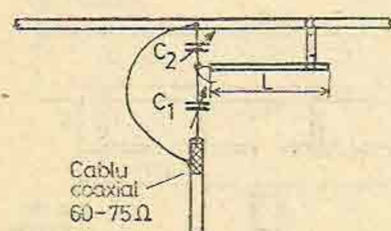


Fig. 28.3. Dispozitiv de adaptare în Omega.

28.4. Transformatoare de impedanţă

Cele mai multe antene de UUS şi chiar de US sînt simetrice şi ar fi foarte simplu să fie alimentate cu linii simetrice. Dar am văzut care sînt avantajele oferite de cablurile coaxiale. Chiar dacă impedanţa de la baza antenei este egală cu impedanţa caracteristică a cablului coaxial asimetria cablului duce la pierderi prin radiaţie — radiaţia prin tresa ecran. Pe deasupra, în cazul

emisiei poate apare și o interferență între radiația antenei și radiația prin tresa ecran a cablului coaxial.

Pentru a se utiliza totuși cablul coaxial se intercalează între antenă și cablu un dispozitiv numit *transformator de impedanță* sau dispozitive de simetrizare. În literatură este răspîndit termenul de Balun, o prescurtare de la *bal*anced — *un*balanced.

28.4.1. Simetrizorul liniar

Simtrizorul liniar este dispozitivul cel mai simplu de simetrizare. Se realizează din același cablu coaxial cu care se alimentează antena. Lungimile segmentului sînt date în tabelul de mai jos.

Banda MHz	lungimea 50	segmentului 75
14	3450	4250
21	2300	2830
28	1710	2100

Acest dispozitiv are un raport de transformare 1:1.

În domeniul undelor ultrascurte se utilizează simetrizorul foarte cunoscut numit curent bucla de simetrizare in $\lambda/2$. Acesta realizează raportul de transformare 4:1.

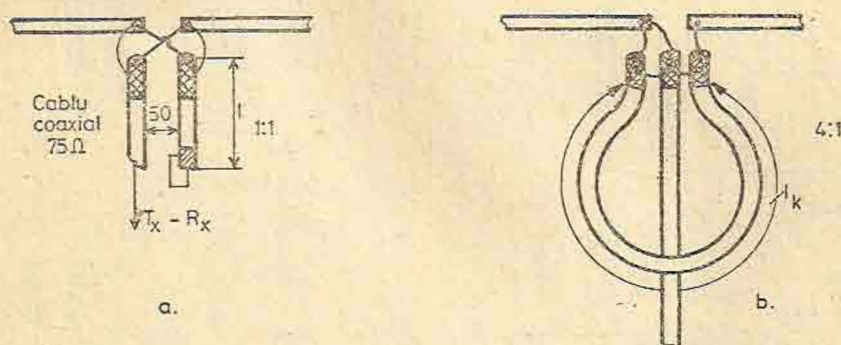


Fig. 28.4. Simetrizoare liniare; *a*) raport 1:1; *b*) raport 1:4.

În banda de 144 MHz lungimea buclei de simetrizare este de 827 mm pentru un cablu de 75 Ω și 672 mm pentru cablul de 50 Ω.

Lungimea buclei de adaptare se calculează cu formula

$$l_k = \frac{150}{f} V_k = \frac{\lambda}{2} V_k$$

unde f este frecvența de lucru a instalației de antenă și V_k factorul de scurtare al cablului. De obicei $V_k = 0{,}8$ pentru cablul coaxial de 75 Ω și $V_k = 0{,}6$ pentru cablul de 50 Ω.

28.4.2. Simetrizorul acordat

Acest simetrizor se folosește pentru cablurile coaxiale care alimentează antene de aceeași impedanță, de ex 75 Ω. Din păcate simetrizorul acordat lucrează numai într-o bandă. Transformatorul propriu zis se realizează dintr-o bobină cu înfășurare bifilară. Sîrma va avea diametrul de 0,6 mm iar distanța între spire 1,5 mm. La realizarea conexiunilor se va ține seamă de capetele de început ale înfășurărilor, care sînt marcate în fig. 28.5 cu cîte un punct. Montajul se introduce într-o cutie bine închisă prinsă la nivelul antenei dipol.

Dăm mai jos tabelul pentru construirea acestor simetrizori în toate benzile de unde scurte.

Banda MHz	L_1 și L_2 spire	C_1 pF	C_2 pF	Carcasa mm
3,5	8	62	4500	60
7	8	—	1000	60
14	3	39	1000	50
21	3	15	650	50
28	3	4	420	50

Pentru banda de 28 MHz se poate realiza un dipol cu brațele de cîte 4,52 m prevăzut cu un astfel de simetrizor dipolul dă rezultate foarte bune.

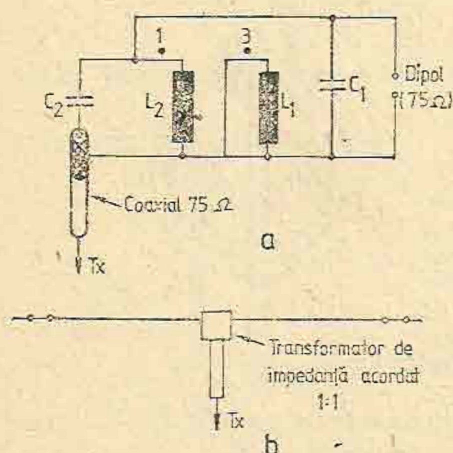


Fig. 28.5. Simetrizor acordat.

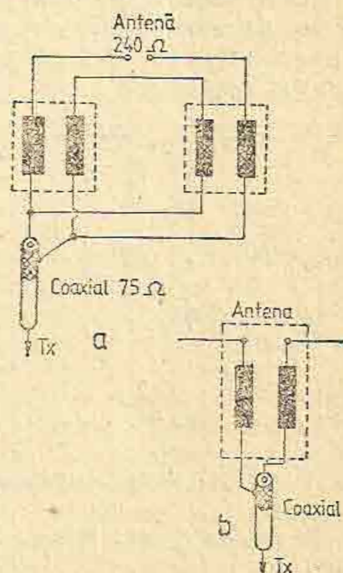


Fig. 28.6. Simetrizor neacordat.

28.4.3. Simetrizorul neacordat

Deși în general antenele multiband sînt mai greu de construit radioamatorii le preferă. Pentru aceasta s-au realizat transformatoare care realizează rapoarte de transformare 3:1 sau 4:1 odată cu simetrizarea cablului într-o bandă de frecvențe de 3—30 MHz. Dăm mai jos schema pentru adaptarea

unei antene cu impedanța de 240 Ω la cablul coaxial de 75 Ω uzual la noi în țară.

Dispozitivul se compune din două bobine identice bobinate bifilar pe o carcasă cu diametrul de 40—50 mm. Conductorul este o bucată de cablu de rețea cu lungimea de 2,3 m.

Cele două bobine se conectează ca în schema din figură. Dispozitivul se poate monta și la distanță față de baza antenei cu ajutorul unei linii bifilare dar lungimea acesteia nu trebuie să depășească 25 m.

28.4.4. Transformatoare de impedanță cu miezuri de ferită

Utilizînd miezuri de ferită toroidale sau în formă de bară se pot realiza transformatoare de impedanță de gabarit redus, bandă largă și cu rapoarte diverse (1 : 1, 4 : 1 și chiar 10 : 1). Lărgimea de bandă rezultă din faptul că odată cu creșterea frecvenței permeabilitatea feritei scade.

Feritele toroidale sînt construite astfel ca să se păstreze un raport constant între diametrul exterior, diametrul interior și grosimea inelului. Diametrul exterior și secțiunea conductorului determină puterea maximă de radiofrecvență la care poate lucra un transformator de acest fel.

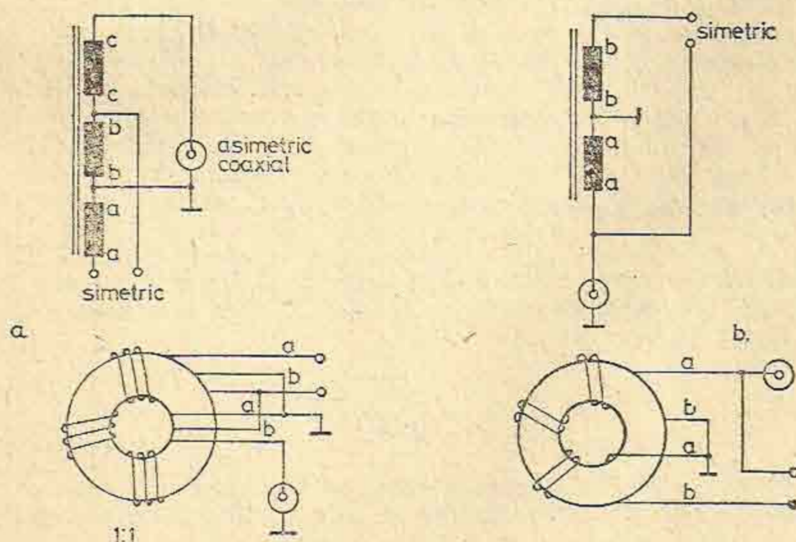


Fig. 28.7. Transformator de impedanță pe miez de ferită: *a*) $n = 1:1$; *b*) $n = 4:1$.

În fig. 28.7 *a* este redată schema unui transformator care realizează raportul 1:1 și simetrizarea prin înfășurarea trifilară realizată cu conductor de diametru 0,8—1 mm. Pentru benzile joase (3,5 și 7 MHz) se bobinează 14 spire iar pentru celelalte benzi de unde scurte numai 8 spire.

De multe ori este necesară adaptarea de la 240—300 Ω la 60—75 Ω. În acest caz se recurge la un transformator cu raportul de transformare 4:1. De data aceasta bobinajul este bifilar cu 16 spire pentru 3,5 și 7 MHz și 10 spire pentru celelalte benzi de unde scurte.

28.5. Cuplajul liniei de alimentare la etajul final al emițătorului

Pentru ca cea mai mare parte a puterii emițătorului să fie transmisă din etajul final prin linia de alimentare la antenă se cer îndeplinite două condiții:

— antena să constituie pentru emițător (generator) o rezistență pură

— impedanța antenei să fie adaptată la impedanța etajului final al emițătorului.

Prima condiție este îndeplinită dacă emițătorul oscilează pe frecvența de rezonanță a antenei. Cum între cele două se află o linie de alimentare este nevoie ca aceasta să nu perturbe condiția de rezonanță. Condiția a doua se îndeplinește prin adaptare. Aceasta este problema de care ne vom ocupa în cele ce urmează.

Impedanța la ieșirea unui amplificator final cu tuburi electronice este de ordinul miilor de ohmi, iar impedanța unei linii variază între 50 și 600 Ω. Impedanța de sarcină pe care trebuie să debiteze putere maximă un tub electronic dintr-un etaj final este dată în cataloagele de tuburi.

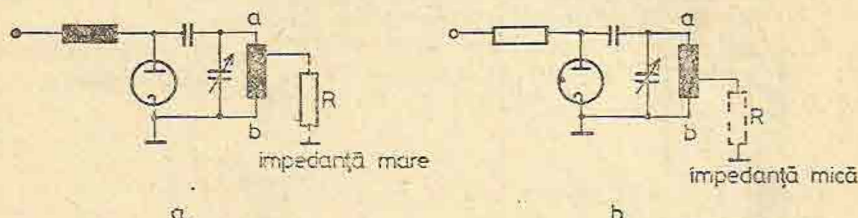


Fig. 28.8. Cuplajul antenei la etajul final: a) Z_L — mare; Z_L — mic.

Să ne închipuim că avem montajul din figura 28.8. Impedanța liniei Z_L trebuie adaptată la impedanța anodică a tubului Z_i. Vom avea nevoie să realizăm un raport de transformare

$$n = \sqrt{\frac{Z_i}{Z_L}}.$$

De acest raport se va ține seamă la construcția bobinei cu priză care realizează cuplajul inductiv între emițător și linia de alimentare a antenei.

Există multe procedee pentru cuplaj dar toate trebuie să rezolve problema atenuării radiațiilor parazite care ar putea perturba emisiunile de radiodifuziune și televiziune. Dar aceea trebuie adăugat că emițătoarele, chiar dacă nu au un etaj de ieșire simetric trebuie adaptate la o linie coaxială cu impedanța caracteristică de 50—75 Ω.

Unul dintre cele mai simple procedee de cuplaj este arătat în figura 28.9. Bobina de cuplaj L_c este cuplată foarte strîns cu bobina din circuitul anod al etajului final. Pe frecvența de lucru a emițătorului impedanța bobinei de cuplaj trebuie să fie riguros egală cu impedanța caracteristică a cablului coaxial. Pentru a evita cuplajele capacitive parazite bobina L_c trebuie cuplată la capătul rece al bobinei L.

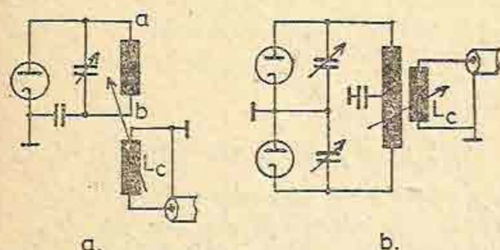


Fig. 28.9. Cuplajul unui cablu coaxid: *a*) etaj final monotact; *b*) etaj final contratimp.

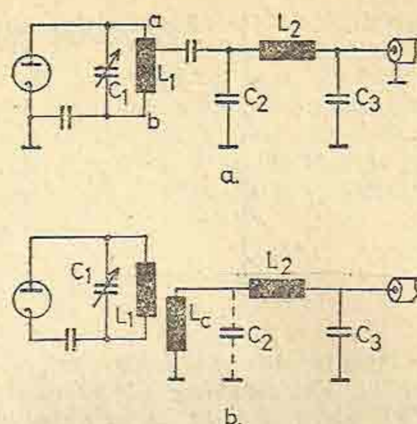


Fig. 28.10. Cuplaj prin filtru π. *a*) cuplaj capacitiv; *b*) cuplaj inductiv.

În cazul unui etaj final în contratimp cuplajul trebuie să fie simetric. Bobina de cuplaj se introduce la mijlocul bobinei din circuitul de ieșire al emițătorului. Aici nu mai are importanță care este capătul rece sau cald.

Pentru a evita unele dificultăți la acord se introduce în serie cu bobina L_c un condensator variabil C_c care va facilita acordul pe frecvența de lucru și va contribui la atenuarea radiaților parazite.

Multe emițătoare sînt echipate în circuitul de ieșire cu un filtru în π, numit și filtru Collins. Acesta permite cuplajul cablului coaxial direct la ieșirea emițătorului fiind și un filtru foarte eficace în atenuarea armonicelor — În figura 28.10 sînt date cele două moduri de prezentare a unui filtru Collins cu cuplaj capacitiv și cu cuplaj inductiv. Calculul, fie și aproximativ al unui astfel de filtru depășește cadrul acestei cărți.

Capitolul 29

Alegerea unei antene U.S.

Mai întotdeauna începătorii se află în fața unei mari diversități de antene. Și cum să aleagă pe cea mai potrivită? Întreabă pe cel mai apropiat radioamator și acesta îi va indica de regulă antena pe care o folosește el și care desigur este cea mai bună.

Deși există mulți partizani ai „antenei minune" trebuie precizat că aceasta nu există, mai ales pentru a se evita eforturile fără sens investite de mulți în căutări sterile. Fizica a impus unele limite peste care nu s-a trecut nici la construcțiile profesionale.

De multe ori ne putem înșela asupra unei antene minune datorită unor condiții favorizante care au concurat în momentul experimentării. Este posibil ca în acel loc și în condițiile propagării din acel moment orice altă antenă echivalentă să dea aceleași rezultate. Calitatea unui loc de instalare depinde de mai mulți factori precum: formele de relief și construcțiile pe o rază de 1 km, conductivitatea solului, suprafețele de apă din împrejurimi, cîmpie înverzită, sol nisipos, teren cultivat, pădure sau tufișuri. Acestea din urmă dau reflexii difuze care nu se adaugă pe direcția de radiație a antenei. De aceea o antenă trebuie judecată și după locul de instalare nu numai în funcție de cîștigul dat în dB.

Un radioamator cu o antenă bine aleasă poate profita indirect de fiecare radioamator care și-a putut construi o antenă directivă pentru că acesta produce un semnal puternic ce poate fi recepționat și cu antene simple.

Dar nu numai antena și locul de instalare sînt hotărîtoare pentru asigurarea succesului. Cel puțin tot atît de importantă este și calitatea semnalului emis determinată de stabilitatea frecvenței, gradul de modulație sau calitatea sunetului. Excepție de la această regulă sînt radioamatorii care reprezintă un indicativ rar pentru care se vor „bate" mulți să intre în legătură radio.

Considerațiile de mai jos vă vor ajuta, sperăm, să vă formați o vedere generală asupra diversității de antene și să vă alegeți o antenă potrivită. Deci vom dicuta despre diferitele clase de antene existente.

29.1. Radiatori în semiundă

Radiatorii în semiundă radiază preferențial perpendicular pe axa longitudinală, după cum se vede și în diagramele din fig. Aceste antene simple sînt: antena Y, dipolul îndoit și dipolul în semiundă de bandă largă. La acestea se adaugă antenele multiband precum W 3 DZZ, antena Zeppelin și antene Windom.

Aceste antene sînt aproape asemănătoare în privința eficacității, diferențele apărînd numai la modul de alimentare care poate influența diagrama de directivitate și în plan orizontal și unghiul de elevație în plan vertical.

Trebuie ținut seamă că aceste antene se alimentează cu linii de impedanță joasă și, bine adaptate, nu perturbă emisiunile de radio sau televiziune. Radiațiile parazite provin din emițător, iar antena și linia ei de alimentare le radiază în spațiu. De aceea se vor prefera antenele alimentate prin cabluri coaxiale, precum antena W3DZZ și dipolul îndoit.

29.2. Antene fir lung (long wire)

Aceste antene sînt formate din mai mulți radiatori în semiundă așezați longitudinal. Odată cu creșterea lungimii antenei diagrama de directivitate se „înfoaie" și apar 4 lobi principali de radiație. Dintre aceste antene cităm:

— antena „long wire"
— antena în V
— antena rombică

Antenele din această categorie au un pronunțat efect directiv și pe cele trei direcții de radiație se pot obține rezultate bune. Lărgimea de bandă este destul de mare iar dimensiunile lor nu sînt critice. Sînt antene ieftine, dar necesită mult loc de instalare; astfel că numai radioamatorii din mediul rural pot beneficia de avantajele lor.

Cele mai bune rezultate le oferă antena în V stea, dar necesită suprafață mare de instalare. Este omnidirecțională, destinată tuturor benzilor de unde scurte iar cîștigul său crește odată cu lungimea de undă.

29.3. Antene cu radiație laterală

Antenele din această categorie au lobii destul de înguști orientați perpendicular pe direcția de întindere a antenelor. Cea mai simplă antenă cu radiație laterală este dipolul alimentat în fază. Alte antene sînt antena Bisquare, ZL- beam și HB 9 CV. Toate acestea au un unghi de elevație foarte mic, un cîștig bun nu necesită loc mult și nu costă mult. Dezavantajul este că au numai o singură direcție de radiație.

29.4. Antenele rotative

Antenele rotative prezintă avantajul de a radia în orice direcție, cele mai cunoscute și mai răspîndite sînt antenele Yagi cu 3 elemente și Cubical Quad cu două elemete. O antenă Yagi are un cîștig de 6 dB și o antenă Cubical Quad 5,5 dB. Aceste antene se pot folosi mai ales în cele trei benzi superioare de unde scurte. Construcția unei asemenea antene nu este deloc simplă mai ales din cauza pilonului care trebuie să fie foarte stabil iar mecanismul de antrenare sigur.

29.5. Antene verticale

Antenele verticale sînt cele mai „economice" din punct de vedere al locului de instalare. Cea mai răspîndită antenă verticală este Ground plane care cu toate că are o diagramă de radiație circulară prezintă și cîștig și dă rezultate bune pentru vînătorii de DX datorită unghiului mic de elevație. Una dintre cele mai bune forme constructive ale acestei antene are radiatorul vertical în $\frac{5\lambda}{8}$. Antenele verticale au dezavantajul cerinței unei foarte bune prize de pămînt. Aceasta se poate înlocui cu așanumita contragreutate formată de o plasă de sîrmă sau însuși acoperișul metalic al casei. Cu aceasta am încheiat prezentarea generală a variantelor de antene destinate radioamatorilor pentru benzile de unde scurte.

29.6. Date constructive

Radiatori în semiundă

29.6.1. Antena Y

Antena Y este un dipol în semiundă cu linia de alimentare acordat. Funcționează pe o singură bandă și are lungimea dată de formula:

$$l = \frac{142\,500}{f \text{ kHz}}$$

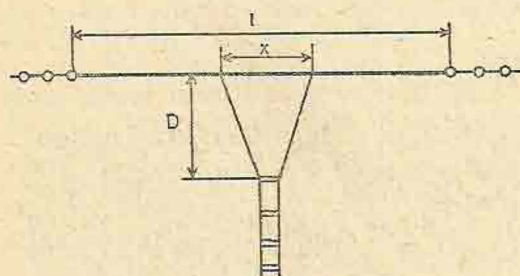


Fig. 29.1. Antena Y.

Este nevoie de o adaptare în Delta la o linie de 600 Ohmi. Dimensiunile din fig. 29.1 se calculează cu relațiile:

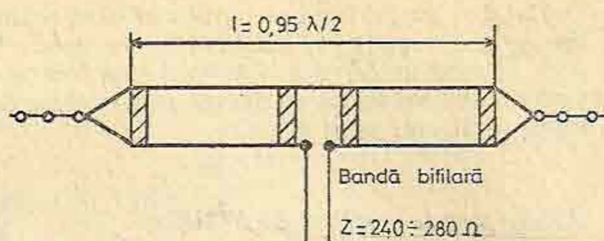
$$X = \frac{3\,600}{f \text{ kHz}}; \quad D = \frac{45\,100}{f \text{ kHz}}$$

Firele din care se confecționează linia de alimentare au un diametru de 2 mm și vor fi distanțate la 150 mm unul de altul.

29.6.2 Dipolul îndoit

Aceste antene sînt mai des folosite în UUS. În unde scurte au avantajul unei benzi destul de largi dar sînt antene monobandă. Se poate folosi drept linie de alimentare linia paralelă cu impedanța caracteristică de 240 Ohmi.

Fig. 29.2. Antena dipol îndoit.



Antena se poate alimenta și cu cablu coaxial dacă se folosește un transformator cu raportul 4:1. Dimensiunile distanțorilor sînt:

20 cm	3,5 MHz
150 mm	7 MHz
100 mm	14 MHz
80 mm	21 MHz
50 mm	28 MHz

Lungimea dipolului $l = 0,95\ \lambda/2$

29.6.3. Antena Windom

Această antenă este cea mai veche antenă de emisie pentru radioamatori. Se utilizează încă foarte mult și datorită simplității sale deosebite și a faptului că fiderul este monofilar.

Antena se realizează dintr-un conductor de cupru de 1—2 mm la care se sudează firul de alimentare de același diametru. Pentru o bună adaptare a impedanței trebuie ca locul de cuplare să se afle exact în punctul unde impedanța antenei este egală cu cea a fiderului (600 Ω). În tabelul 29.1 sînt date toate dimensiunile necesare construcției. Firul de alimentare are orice lungime și se racordează la emițător prin intermediul unui circuit intermediar precum se vede în fig. 29.3. Circuitul acordat este format dintr-un condensator de 100 pF și cîteva bobine interșanjabile din sîrmă de cupru de 2 mm înfășurată pe carcase cu diametrul de 50 mm. Numărul de spire este trecut în tabel. Firul de alimentare se conectează la bobină prin tatonări.

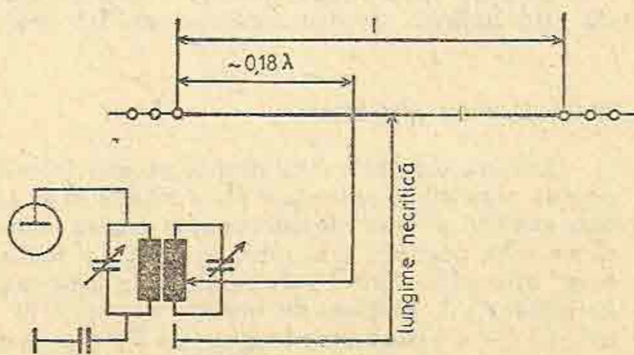


Fig. 29.3. Antena Windom.

Cuplajul la etajul final al emițătorului se realizează cu un cablu coaxial care are la fiecare capăt cîte o bobină 2—3 spire din fir de cupru de 2 mm bobinate pe o carcasă de 50 mm. Cuplajul este foarte strîns între cele două bobine (link) și ansamblul se montează într-o cutie de aluminiu fixată în locul de ieșire al firului spre exterior.

29.6.4. Antena multibandă W3DZZ

Această antenă este foarte indicată în mediul urban aglomerat unde radioamatorii trebuie să se mulțumească cu compromisuri.

Antena din fig. 29.4 este un dipol alimentat cu un cablu coaxial fără dispozitive de adaptare. Dipolul este excitat pe o frecvență de bază și armonicele acesteia spre capătul dipolului sînt intercalate circuite oscilante care

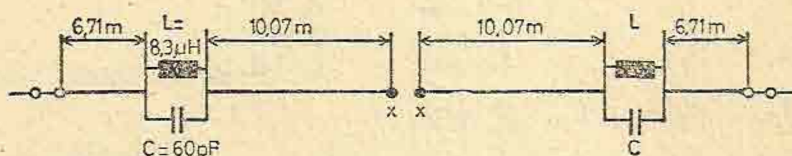


Fig. 29.4. Antena W3DZZ

sînt astfel construite pentru ca dipolul în semiundă să poată rezona în gama de 40 m. În gama de 80 m aceste circuite funcționează ca o inductanță, lungind dipolul, iar în benzile superioare au comportare de capacitate.

Antena este formată din patru segmente radiante perechi. Între segmente se montează cîte un circuit oscilant format dintr-o bobină de 8,3 µH și un condensator de 60 pF. Bobina se realizează prin înfășurarea a 19 spire de sîrmă de cupru de 2 mm pe o carcasă de 50 mm diametru. Spirele vor fi distanțate și se va realiza un bobinaj pe o lungime de 19 mm.

Antena se va construi cu dimensiunile din figură. Antena alimentată cu un cablu coaxial de 75 Ω cu lungimea de 25,60 m funcționează bine în gamele de 80,40 și 15 m. Pentru gama de 20 m cablul trebuie să aibă o lungime de 31,10 m. Deci vom lucra cu un cablu de 25,60 m pentru cele trei game și vom adăuga cu ajutorul unei mufe încă 4,50 m de cablu.

Cum am amintit mai înainte antena lucrează pe mai multe game dar nu este indicată pentru vînătorii de DX-uri.

29.6.5. Antena „fir lung"

Aceasta este cea mai simplă antenă folosită de radioamatori. Ea începe la punctul de racordare din emițător și se termină la capătul opus. Antena radiază pe toată lungimea ei și pentru a nu pierde prea mult trebuie să nu aibă unghiuri mai mici de 120°. Cu toată simplitatea sa, antena „fir lung" are o directivitate pronunțată iar cîștigul său crește odată cu numărul de jumătăți de lungime de undă. O antenă în λ are un cîștig de numai 0,5 dB dar o antenă cu o lungime de 8 λ are un cîștig de 6,2 dB.

Lungimea antenei se calculează cu formula

$$l_{(m)} = \frac{150(N - 0,05)}{f_{(MHz)}}$$

unde N este numărul ales de $\lambda/2$; f = frecvenţa de rezonanţă,

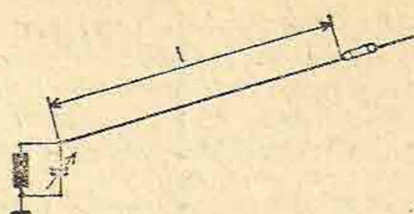


Fig. 29.5. Antena fir lung.

29.6.6. Antena în V

Antena este formată din doi conductori lungi dispuşi în formă de V culcat. Această antenă este bidirecţională şi poate fi construită de radioamatorii care dispun de loc mult pentru instalare. Ei vor fi răsplătiţi deoarece această antenă funcţionează în mai multe benzi şi are un cîştig de 3 dB faţă de un long wire de aceeaşi lungime deoarece dimensiunile sînt foarte mari vom da cotele numai pentru antena calculată pentru banda de 15 m. Firele radiante au cîte 63,05 m fiecare şi un cîştig pe fundamentală de 6,5 dB. În gama de 10 m cîştigul se ridică la 8 dB şi în banda de 20 m abia la 5 db. În benzile de 40 şi 80 randamentul antenei cu aceste dimensiuni este foarte slab.

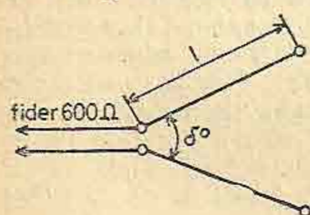


Fig. 29.6. Antena în „V".

Antena se alimentează cu o linie acordată de 600 Ω care se racordează la vîrful unghiului. Unghiul dintre conductorii realizaţi din sîrmă de cupru cu diametrul de 2 mm, este de 47°.

În încheiere, cu titlu informativ, o antenă în V pentru banda de 40 m are o lungime de 167,2 m pentru fiecare radiant în 4 λ dar asigură un cîştig de 8 dB.

Deoarece descrierea celorlalte antene pomenite în clasificarea dată mai sus ar necesita mult spaţiu şi mai ales fiindcă antene precum Cubical Quad nu sînt destinate începătorilor vom renunţa să le mai prezentăm.

Capitolul 30

Traficul radioamatorilor (I)

După parcurgerea atîtor capitole de radioelectronică, s-ar părea că totul este terminat și putem să ne prezentăm la examen. Dar cunoștințele acumulate pînă acum sînt numai teorie, iar un examen ca cel de radioamator nu poate fi trecut numai stăpînind un bagaj teoretic după cum nu putem pretinde că vom conduce un automobil fără a fi pus mîna pe volan. De aceea sper că ați dat urmare sfatului din capitolul introductiv și ați ascultat cu un receptor SSB traficul din benzile alocate radioamatorilor. Cele ce veți auzi în bandă vă vor ajuta să înțelegeți problemele de trafic expuse mai departe.

30.1. Indicativele de apel

Pentru a pune ordine în traficul radio, fiecre țară a ales un grup de litere sau cifre care să desemneze stațiile de radio care activează pe teritoriul său. Un indicativ de apel este format dintr-o combinație unică de litere și cifre. De regulă indicativele încep cu două litere care reprezintă prefixul țării respective, urmate de o cifră pentru determinarea districtului din țara respectivă. Următoarea combinație de două sau trei litere determină în mod univoc stația de emisie a unui singur radioamator din țară.

Stațiile de radiocomunicații din România au prefixul YO urmat de o cifră de la 2 la 9 pentru desemnarea districtului, după care urmează un sufix din două sau trei litere. Indicativele de apel ale radioamatorilor din România aveau pînă în 1965 sufixuri formate din două litere, iar radioamatorii autorizați după 1965 au primit sufixuri formate din trei litere. Stațiile de radioclub sau aparținînd altor asociații de radioamatori au prima literă a prefixului, litera K. De exemplu YO 3KAA este indicativul de apel al stației de emisie-recepție a Radioclubului central din București.

În tabelul de mai jos se prezintă împărțirea zonelor de radioamatori din R.S. România:

YO2	Arad, Caraș Severin, Hunedoara, Timiș
YO3	Municipiul București
YO4	Brăila, Constanța, Galați, Maramureș, Sălaj, Satu Mare
YO5	Alba, Bihor, Bistrița Năsăud, Cluj, Maramureș, Sălaj, Satu Mare
YO6	Brașov, Covasna, Harghita, Mureș, Sibiu
YO7	Argeș, Dolj, Gorj, Mehedinți, Olt, Vîlcea
YO8	Bacău, Botoșani, Iasi, Neamț, Suceava, Vaslui
YO9	Ialomița, Ilfov, Prahova, Teleorman

30.2. Prefixele de radiocomunicații internaționale

Toate stațiile de radiocomunicații din lume, inclusiv cele ale serviciilor maritime sau aviatice au ca și stațiile radioamatorilor, indicative formate din prefixe alfanumerice. Acestea cuprind două sau trei litere ori combinații de litere și cifre. De cele mai multe ori prima sau primele două litere provin de la numele țării.

Exemple: pentru Marea Britanie G-de la Great Britain sau pentru Spania EA — de la Espania, pentru Franța F — de la France. Pentru a cuprinde un mare număr de stații, fiecare țară are alocat un bloc de combinații de litere, mărimea acestuia depinzînd și de numărul stațiilor din țara respectivă. De exemplu, Suedia are blocul de litere SAA pînă la SMZ, radioamatorilor fiindu-le rezervate combinațiile SK, SL și SM. Cehoslovacia are OK, OL și OM, iar Uniunea Sovietică două blocuri de combinații RAA-RZZ și UAA-UZZ. Stațiile de radioamatori din Uniunea Sovietică pot avea indicative de apel precum UA 9DJ, UT4ABJ sau RP3GAF.

Unele țări au prefixele formate dintr-o cifră urmată de o literă și cifra districtului. De exemplu, pentru Algeria există prefixul 7X, iar dacă indicativul de apel este 7X3 AD vom ști că radioamatorul algerian emite din Sahara.

Dacă un radioamator activează pentru o perioadă de timp în altă țară va folosi indicativul său la care va adăuga prefixul țării în care lucrează temporar. Exemplu YO 4 DU/LZ înseamnă că radioamatorul român YO4DU emite de pe teritoriul Republicii Populare Bulgaria.

Practic pentru radioamatorii români prefixele cele mai întîlnite sînt cele ale radioamatorilor europeni și pentru a le învăța mai ușor sînt prezentate în anexa nr. 4. De asemenea în anexa nr. 5, sînt menționate prefixele de radiocomunicație din toată lumea,

Listele complete ale prefixelor de radiocomunicații se publică periodic în fiecare țară. Pe plan internațional cea mai cunoscută publicație care editează listele de prefixe la zi este „Call book."

Folosind lista din anexa nr. 4 vă propunem să învățați prefixele țărilor europene. Vă veți verifica însușirea lor, răspunzînd la întrebările de mai jos:

1. Care sînt prefixele radioamatorilor români?
2. Care sînt prefixele radioamatorilor din țările socialiste sau europene?
3. Care sînt prefixele radioamatorilor din țările mediteraneene?
4. Care sînt prefixele radioamatorilor din țările scandinave?
5. Care sînt prefixele radioamatorilor din țările Comunității europene?

30.3. Codul Q

Apărute mai ales ca urmare a imperativelor comunicațiilor radiotelegrafice, codurile de prescurtări servesc la vehicularea unor expresii întregi, prin transmiterea numai a cîtorva litere. Dintre toate codurile cel mai răspîndit este codul Q apărut prin anii '20—30 în serviciile radiotelegrafice marine.

Expresiile din codul Q sînt formate din trei litere dintre care prima este întotdeauna Q urmată de una din literele R, S, T sau U. A treia literă este

aproape fiecare literă a alfabetului latin. Pentru o întrebare expresiile sînt urmate de „?".

În radiocomunicațiile marine există foarte multe expresii dintre care radioamatorii și-au ales cele adecvate traficului lor.

Să presupunem că un radioamator transmite QRM. Corespondentul său va înțelege că recepția semnalelor sale este perturbată de alte stații radio. Sau la întrebarea QSY care înseamnă „să trec pe altă frecvență?" i se va răspunde QSY 7050 adică „treceți pe 7050 kHz"

În anexa nr. 6 este prezentată lista expresiilor codului Q adecvată traficului radioamatorilor. Desigur aceste expresii trebuie învățate și folosite în trafic.

Se observă că majoritatea expresiilor se grupează în jurul literelor QR și QS și le veți învăța după cum urmează..

Tema I

Dacă ați învățat semnificațiile expresiilor de cod Q din grupa QR, completați spațiile libere cu grupele corespunzătoare expresiilor:

... Vreți să măsurați frecvența mea?
... Frecvența Dv. variază.
... Tonul emisiunii Dv. este
... Inteligibilitatea semnalului
... Sînt ocupat
... Sînt interferat
... Sînt perturbat de paraziți atmosferici?
... Măriți puterea emisiei
... Micșorați puterea emisiei .
... Transmiteți mai rapid
... Transmiteți mai lent
... Încetați transmisiunea
... Nu am nimic pentru Dv.
... Sînt gata
... Vă voi chema din nou
... Cine mă cheamă?

Tema II

Procedați la fel cu grupele QS și QT.
... Tăria semnalelor
... Manipulația Dv. este defectuoasă
... Mă puteți întrerupe în timpul transmiterii
... Vă confirm recepția
... Pot lua legătura direct cu...
... Pot transmite lui...
... Răspundeți pe frecvența actuală
... Transmiteți o serie de pe această frecvență

... Treceți pe altă frecvență
... Am... telegrame pentru Dv.
... Poziția mea este
... Ora exactă este

Cum se desfășoară o legătură radio cu ajutorul codului Q

1. Un radioamator ascultă cu atenție pe frecvența pe care vrea să lanseze un apel, dar nu este sigur dacă această frecvență este într-adevăr liberă. Este posibil ca el să se afle în zona de tăcere a unei stații apropiate care lucrează pe această frecvență cu un DX. Radioamatorul nostru va lansa mai întîi QRL, adică „Sînteți ocupat?". Dacă nu răspunde nimeni înseamnă că poate lansa un apel general CQ. Dacă cineva este deranjat, va transmite QSY, adică „schimbați frecvența".

2. Să presupunem că la apelul general răspund mai multe stații în așa fel încît nu se poate înțelege nimic. Așa încît urmează întrebarea QRZ MV, adică „Cine mă cheamă?". În acest caz va răspunde numai corespondentul care are această combinație, de exemplu G3 MV sau poate F4 MVR. Dacă va răspunde altcineva, acesta va fi considerat nepoliticos

3. Iată o frază pe jumătate serioasă, pe jumătate în glumă care cuprinde multe expresii din codul Q.

QRZ? Aici QRM, QRN și QSB și de aceea vă rog QRO sau QRX 5 min și QSY 7070 și QSV. Dacă QRU și mîine QRV pentru un QSO din alt QTH cu QRP pe aceeași QRG.

Așa ceva nu poate exista. Cuvintele intermediare nu se transmit în felul acesta. În radiotelegrafie se mai folosește și un alt cod de prescurtări.

3.4. Codul de prescurtări

În afara codului Q, codul de prescurtări înlesnește comunicațiile radiotelegrafice și contribuie la depășirea granițelor lingvistice. Cea mai mare parte a prescurtărilor se bazează pe cuvinte din limba engleză. Lista prescurtărilor folosite de radioamatori este dată în anexa 1, iar pentru examen trebuie învățată mai întîi semnificația lor în limba română, dar cunoscătorii de limbă engleză le vor învăța mai ușor. Dacă veți face mai multe ascultări în benzile de radioamatori, însușirea celor două coduri se va face firesc ceea ce nu înseamnă că cel care învață nu trebuie să fie perseverent.

În cele ce urmează prezentăm un exemplu de QSO uzual în care se comunică un strict necesar de informații cu privire la control, nume, localitate, descrierea stației și a vremii locale.

Radioamatorul A:

CQ CQ CQ de YO3 CBZ CQ CQ CQ de YO3CBZ (de cîteva ori)... pse k

Radioamatorul B:

YO3CBZ YO3CBZ de UB5DZ UB5DZ k

Radioamatorul A:

UB5DZ UB5DZ DE YO3CBZ = ge dr frd es mni tnx fer call = ur rst 579 qsb = my qth bucureşti es my name is radu- = nw pre hw? UB5DZ de YO3CBZ kn.

UB5 DZ de YO3CBZ Bună seara, dragă prietene şi multe mulţumiri pentru apel. RST-ul tău este 589 cu variaţii de intensitate a cîmpului. Oraşul meu este Bucureşti, iar numele meu este Radu. Cum să mă auzi?

Radioamatorul B:

YO3CBZ YO3CBZ de UB5DZ. r r ge dr radu es tnx fer rprt = ur rst 579 in qth Zakarpatskaia es my name boris = nw pse hw YO3CBZ YO3CBZ de UB5DZ kn.

Roger roger (confirm recepţia). Bună seara dragă Radu şi multe mulţumiri pentru report. Reportul tău este 579 în Zakarpatskaia şi numele meu este Boris. Cum mă auzi' YO3CBZ UB5DZ kn înseamnă „urmează numai staţia chemată".

Radioamatorul A:

UB5DZ UB5DZ de YO3CBZ = rall ok dr Boris es tnx fer rprt = my rig hr tx 100 watts es ant dipole = wx rain es cold = nw qru dr om = pse ur qsl = my qsl sure tnx fer qso es best dx = hpe cuagn dr boris 73 gb gn UB5DZ de YO3CBZ.

Roger totul este o.k. dragă Boris şi multe mulţumiri pentru report. Emiţătorul meu are 100 W şi antena este dipol. Vremea este ploioasă şi e frig. Acum nu mai am nimic pentru tine. Te rog trimite-mi QSL-ul tău. Vei primi sigur QSL-ul meu. Mulţumesc pentru QSO şi îţi doresc cele mai bune DX-ri. Sper să te reîntîlnesc în bandă. Dragă Boris good bye şi noapte bună.

Radioamatorul B.

YO3CBZ YO3CBZ de UB5DZ = rall ok dr radu tnx fer info = my = tx is 75 watt es ant long wire = wx hr oldy es lo c = my qsl sure = my mni tnx fer qso es hpe cuagn radu = 73 gb gn YO3CBZ de UB5DZ sk Roger. Totul este o.k. dragă Radu şi multe mulţumiri pentru informaţii. Emiţătorul meu are o putere de 75 W, iar antena este long wire. Aici cerul este înnorat şi temperatura de 10°C. Vei primi QSL-ul meu. Mulţumiri pentru QSO şi sper să te reîntîlnesc în bandă. Radu. Salutări, good bye, noapte bună.

Radioamatorul A:

UB5DZ de YO3CBZ = r ok Boris 73 gb sk

În felul acesta decurge un QSO în telegrafie. Atunci cînd veţi fi autorizat să lucraţi în emisie, trebuie să vă scrieţi un text standard cu datele. Dv. pe care îl veţi folosi la primele QSO-ri. După ce veţi cîştiga experienţă, comunicaţiile vor fi mai uşor de conceput şi nu veţi mai avea nevoie de textul scris.

Pronunțarea literelor și cifrelor

La fel ca în telecomunicațiile comerciale naționale și internaționale radioamatorii au un cod de pronunțare al literelor și cifrelor. Fiecare țara are codificat un astfel de [tabel și un nume ca de exemplu MARIUS se poate transmite astfel:

În limbajul telefonistelor din Romania
maria-ana-radu - ion-udrea — sofia.

În limbajul folosit de serviciile marine
mike — able — roger — item — under — sugar

Un radioamator german l-ar formula astfel
martha — anton — richard — ida — ulrich — siegfried

În Europa este uzual un alfabet format din nume de orașe și țări care au cam aceeași pronunțare în cele mai multe limbi. Deci Marius ar suna astfel:
mexico — america — radio — italia — uruguay — santiago

În codul răpîndit în toată lumea, nume sună astfel
mike — alpha — romeo — india — uniform — sierra

Va trebui să vă obișnuiți cu aceste pronunțări, limbajul telefonistelor și limbajul internațional deoarece în comunicațiile telefonice este foarte ușor a se confunda A cu K, B cu P și D sau T, I, cu E, M cu N

Întrebări de verificare

1. Care sînt clasele de autorizare ale emițătorilor?
2. Cum găsiți adresa unui radioamator pe care l-ați auzit în bandă?
3. Numiți 5 prefixe care încep cu Y.
4. Numiți 5 prefixe ale țărilor din jurul mării Baltice.
5. Numiți prefixele țărilor din jurul munților Alpi.
6. Care sînt prefixele țărilor Balcanice?
7. De ce se recurge la codul Q?
8. Care este semnificația grupelor următoare?
QTH QSO QRM QRS QSV QRG

8. Rostiți în codul românesc și codul internațional cuvintele RADIOAMATOR și ULTRASCURTE.

9. Scrieți care sînt grupele QR, QS, QT și semnificațiile lor.

10. Traduceți în cod Q următorul text.
Orașul meu este București, iar numele meu este Petre. Emițătorul meu are o putere de 80 W. și antena long wire. Vă rog care este frecvența mea? Cum mă auziți?

Capitolul 31

Traficul radioamatorilor (II)

În primul capitol de trafic am făcut cunoștință cu cele mai importante prefixe ale țărilor europene. În cele ce urmează vom trece la învățarea prefixelor radioamatorilor din țările altor continente. După ce vom învăța bine prefixele țărilor dintr-un continent, vom trece la alt continent. Pentru verificare va trebui să puteți indica țara pentru un număr dat de prefixe dintr-un continent. Dacă verificarea dovedește că avem cunoștințe corespunzătoare, vom putea continua procesul de învățare. În practică vom întîlni destul de multe prefixe neobișnuite care au fost aprobate de Uniunea Internațională de Telecomunicații. În anexă sînt trecute cele mai multe dintre acestea.

Radioamatorii folosesc numai primele două litere după care urmează o cifră la care se adaugă două, trei litere ce definesc univoc o stație radio și numai una.

Se întîmplă de multe ori ca un indicativ să nu fie găsit pe lista prefixelor normale. Căutîndu-le în anexă, vom identifica în ce bloc de indicative se află. De exemplu, TV 2 CF nu se găsește în lista prefixelor, dar în lista prefixelor de radiocomunicații găsim că se află în blocul TV—TX și deci este înregistrat printre stațiile ce fac parte din comunitatea franceză.

TEMĂ

Indicați țara de apartenență a următoarelor indicative de stații radio.

1. AN3PC
2. BC4PA
3. CT6 OR
4. EN7 CD
5. HH2 PR
6. OV4 MI
7. OG7 VX
8. PL50S
9. J4AP
10. S2 MAI
11. TC4 OD
12. A3 ACA
13. MQ.90H
14. 4B7 MX

31.1. Codul RST

În comunicațiile lor, radioamatorii folosesc un cod pentru raportarea calității recepției stațiilor corespondente. Acest cod este codul RST. Semnificația literelor este următoarea:

R — readibility (inteligibilitate)
S — signal strength (tăria semnalului)
T — tone (calitatea sunetului)

Pentru inteligibilitate avem o scară de la R1 — neinteligibil pînă la R5 — perfect inteligibil. Totuși în trafic se întîmplă rar ca să se dea un control mai mult de R3, deoarece se poate adăuga că din cauza QRM, inteligibilitatea este scăzută. Această explicație trebuie dată separat. Totuși calitatea recepției rezultă clar și din celelalte două controale: tăria semnalului și calitatea tonului.

Intensitatea semnalului se apreciază între S1 — abia audibil și S9 — semnal foarte puternic. Aprecierea se face obiectiv cu un S-metru sau subiectiv după auz. Vom da valorile pentru diferite praguri de putere:

S9 — semnal de 50 μV la intrarea de 50 Ω a unui receptor
S8 — jumătate din intensitatea de cîmp precedentă, 25 μV
S7 — sfertul acestei intensități, 12,5 μV

și așa mai departe pînă la 0,1 μV pentru S1. Această ultimă valoare este maximum de sensibilitate a unui receptor de calitate foarte bună.

În general sub S5 nu mai sînt condiții bune de audiție și cele mai multe S-metre neprofesionale indică greșit. Aparatele folosite pentru măsurarea acestor valori, măsurătoare de cîmp, sînt costisitoare și nu-și justifică rostul. De aceea trebuie să vă calibrați S-metru, comparînd controalele Dumneavoastră cu ale unor radioamatori din același ținut. Desigur o precizie mai mare se obține, calibrînd S-metrul cu ajutorul unui măsurător de cîmp.

Aprecierea calității sunetului se face cu o scară în 9 trepte. O astfel de apreciere ajută mai ales pe cei care au emițătoare de construcție proprie pentru a le compara cu emițătoarele profesionale. În general calitatea sunetului este influențată de brumul de filtraj. Dacă apar clicsuri la manipulație, se adaugă un k. În cazul alunecării de frecvență se adaugă D (drift). Litera U indică instabilitatea lentă de frecvență. Pentru cazurile de instabilitate rapidă se adaugă c (chirpy.)

În cazul traficului de telefonie, se suprimă controlul tonului și se introduce controlul modulației — RSM.

Pentru radiocomunicațiile profesionale și radiofonia pe unde scurte este adaptat un cod cu SINPO și codul SINPREMO.

31.2. Cărți de confirmare QSL

Încă de la începutul mișcării de radioamatori, a rămas obiceiul, foarte frumos de altfel, ca o legătură reușită să fie confirmată și în scris. Pe atunci era o întîmplare extraordinară cînd se primea QSL din alt continent pentru o emisiune realizată pe un emițător de numai 10 W. Și soseau pe atunci mai multe QSL-ri decît legăturile ce se puteau realiza.

Acum un QSL trimis este un gest frumos, după o legătură reușită. QSL-ul este ca o carte de vizită a radioamatorului, dar și o bucurie pentru un radioamator care îl primește, mai ales dacă este receptor. Totuși QSL-ul este indispensabil cînd este nevoie să dovedim îndeplinirea condițiilor cerute pentru primirea unei diplome. Oricum expedierea unui QSL este o manifestare a politeței radioamatorilor, după un QSO.

Radioamatorii caută și uneori reușesc să-și tipărească cîte un QSL deosebit care să facă plăcere celui ce-l primește. De multe ori pe QSL se află

o imagine din orașul radioamatorului, un desen sau o caricatură. Cu toate acestea, foarte apreciate sînt QSL-le în care radioamatorul apare fotografiat în fața stației sale sau a cîmpului de antene.

În afară de aceasta, QSL trebuie să cuprindă mai ales anumite date despre legătura efectuată. Acestea sînt următoarele:

— indicativul propriu
— indicativul corespondentului
— data
— ora (UTC)
— banda de frecvențe
— clasa de emisie
— controlul RST

Pe lîngă acestea mai pot apare și alte date, ca de exemplu:

— localitatea (QTH)
— adresa exactă, țara
— puterea de emisie
— antena utilizată

În continuare, cîteva cuvinte despre completarea QSL-lui. Deoarece în unele țări, luna se scrie înaintea zilei, precum 7.04.87 aceasta înseamnă 4 iulie 1987 în loc de 7 aprilie 1987. De aceea se va scrie clar luna.

În principiu ora convorbirii se notează în UTC. (Universal Time Cooperate). În cazul legăturilor între radioamatori români se pot trece orele locale și chiar ora de vară sau de iarnă.

Pentru clasa de emisie sînt suficiente prescurtările: CW, SSB, RTTY. F.M.

În scopul obținerii anumitor diplome, este necesar să se confirme dacă legătura a fost bilaterală, prin urmare se va trece neapărat „two-way QSO". Pentru banda de frecvență se va trece în MHz cifrele: 3,5-7-14-21-28-144-432 MHz.

Controlul se va da RST. Se va acorda atenție și modului de completare a QSL-lui, mai ales la scrierea indicativului. Vom fi atenți la literele I și J, apoi la L și C sau U și V care se pot confunda ușor. Vom pune linioară la L și nu vom scrie 1, iar 7 se va tăia. Pentru a nu confunda semnul de nul (0) se va tăia Ø = zero. Scris neglijent se poate confunda D cu O.

În ultima vreme, mai ales pentru a veni în sprijinul vînătorilor de DX-ri, care au nevoie de confirmări ale noilor țări lucrate, s-a încetățenit practica ținerii evidențelor QSL de către alte persoane. Aceștia sînt QSL managerii. În baza copiei logurilor trimise, managerul expediază confirmările legăturilor.

Radioamatorii din România beneficiază de serviciile birourilor de QSL din cadrul radiocluburilor județene.

Uneori, în schimbul de QSL-uri se introduce într-un plic, alături de QSL, încă un plic cu adresa gata completată și un cupon internațional de răspuns (IRC) (International Reply Coupon). Să nu vă mire că trebuie să completați adresa, deoarece nu este simplu pentru oricine să scrie nume cu totul și cu totul străine.

Adresele managerilor se publică în liste care se modifică mereu și de aceea este interesant să urmărim emisiunile de QTC din banda de 7 MHz care se transmit în fiecare duminică la ora 10.

31.3. Diplome conferite radioamatorilor

Radiocluburile din diferite țări conferă diplome pentru îndeplinirea anumitor performanțe. Aceste diplome nu presupun și cîștigarea anumitor drepturi, dar dovedesc posibilitățile și iscusința celor ce le primesc. Se cere spre exemplu, să se lucreze cu un anumit număr de stații dintr-o țară, dintr-o zonă sau dintr-un continent. Există diplome editate de radiocluburi sau de orașe cu ocazia unor aniversări. Cu toate acestea cele mai prețuite sînt diplomele care solicită din partea radioamatorilor multă trudă și pricepere dovedite pe perioade de timp îndelungate.

Printre cele mai renumite diplome este DXCC care cere să se dovedească cu QSL-ri legăturile efectuate cu radioamatori din mai mult de 100 de țări.

Apoi diploma AAA (All Africa Award) care cere să se fi lucrat cu un anumit număr de țări din Africa.

Există radioamatori care au un adevărat cult al diplomelor care pare nejustificat, dar pentru intrarea într-un club anumit trebuie dovedită posesia unui anumit număr de diplome. Astfel pentru membrii YODX Club este necesară confirmarea legăturilor cu 100 de țări diferite plus 15 diplome românești și 10 străine. Dacă vi se pare simplu, consultați lista membrilor YODX-Clubului și veți constata că nu sînt prea mulți și există motive serioase pentru a fi atît de stimați.

Nu vom putea enumera diplomele românești sau străine, chiar și pe cele mai însemnate, dar vom aminti în cele ce urmează ceea ce este mai important de cunoscut despre fiecare diplomă:

— clubul care conferă diploma și adresa sa exactă
— categoriile de radioamatori care o pot obține (emițători, receptori, membrii unui club, etc)
— perioada în care au fost realizate legăturile
— condițiile concrete de realizat
— clasele de emisie obligatorii
— benzile de emisie obligatorii
— termenul de cerere al diplomei
— taxa de obținere a diplomei
— modul de întocmire a cererii de diplomă
— modul de dovedire a realizării legăturilor (anexarea QSL-lor, vizarea logurilor de către responsabilii locali, etc)

Uneori trebuie plătită o taxă pentru acoperirea costurilor expediției sau chiar a tipăririi diplomei, dar unele organizații își fac o cinste din editarea unor diplome a căror condiții de obținere să fie exclusiv de ordin tehnic operativ.

31.4. Concursurile de radioamatori

Concursurile au rolul de a intensifica activitatea radioamatorilor. În asemenea concursuri sînt catalizate energii nebănuite. Sînt puse la încercare pregătirea, condiția fizică, aparatura, experiența. Unele concursuri durează 24 de ore sau mai puțin, dar și săptămîni sau luni.

În timpul unui concurs se schimbă anumite date obligatorii care se notează în Log. Printre aceste date fac parte: controlul RST, numărul QSL-lor, QTH în UUS sau zona în CW, sau alte condiții cerute de concurs.

Dintre cele mai populare concursuri se numără WWDX Contest (World Wide DX Contest) la care iau parte stații din întreaga lume, iar radioamatorii își comunică numai controlul RST și zona. România se află în zona 28, iar un control posibil de comunicat ar fi 57928. În acest concurs un DX contează 3 puncte, iar un indicativ străin oarecare 1 punct. Trebuie să mai adăugăm că fiecare zonă și țară are un anumit multiplicator pentru fiecare bandă, iar concursul durează 48 de ore. Concursurile mai mari sau mai mici se anunță din timp, iar în vederea participării trebuie cunoscute următoarele date:

— forul organizator și adresa exactă

— ce stații sînt implicate (din toată lumea, dintr-un continent zonă, țară), membrii unui club

— cu ce stații se lucrează (participanți la concurs sau stații dintr-o anumită țară)

— apelul concursului (CQ Test, CQDX, etc)

— data începerii și încheierii concursului

— benzile de concurs — tipuri de emisiune, ce controale se schimbă (RST + numărul de legături, numărul zonei, vîrsta operatorului, puterea stației, anii de activitate ca radioamator, etc)

— restricții impuse

— categorii de clasificare ale stațiilor

— modul de punctaj

— multiplicatorul

— trofeele acordate

— termenul de expediție al logurilor

Logurile se întocmesc separat pentru fiecare bandă. Se pot utiliza fișele tip difuzate de federații. Se trec numărul curent, data, ora, indicativul corespondentului, grupele de control transmise și recepționate, multiplicatorul și punctajele obținute pentru fiecare legătură. La acestea se adaugă o fișă recapitulativă centralizatoare.

Dacă cineva se află în concurs, atunci se va anunța în CV cu apelul CQ Test sau în forma CQ Contest. Dacă ascultați o astfel de stație și nu luați parte la concurs, este bine să răspundeți. Corespondentul se va bucura pentru fiecare punct și de aceea îi veți da toate datele pe care le cere.

Participarea la concurs presupune o anumită ținută din partea tuturor concurenților. De aceea se vor da totdeauna controale cît mai aproape de realitate și vom respecta cu strictețe puterea de emisie pentru care avem autorizație.

ANEXE

ANEXA 1

Codul de prescurtări folosite de radioamatori

Expresia	Cuvintele de origine	Semnificația
	A	
abt	about	despre, circa
ac	alternating current	curent alternativ
af	audio frequency	audiofrecvență
agc	automatic gain control	reglaj automat al amplificării
agn	again	din nou, iarăși
alc	automatic level control	control automat al nivelului
am	ante meridiem (lat.)	înainte de amiază
am	amplitude modulation	modulație de amplitudine
ant	antenna	antenă
ars	amateur radio station	stație de radioamator
as	aspettate (it.)	așteptați
avc	automatic volume control	reglaj automat al amplificării
award	award	diplomă, răsplată
awdh	auf Wiederhore (germ.)	la reauzire
	B	
bci	broadcast interference	perturbarea recepției de radiodifuziune
bcnu	be seeing you	voi căuta să vă reîntîlnesc
bd	bad	rău
beam	beam	antenă directivă
bfo	beat frequency oscilator	oscilator de bătăi
bk	black	negru
bpm	Buchstaben pro Minute (germ.)	litere pe minut
bug	bug (= ploșniță)	manipulator mecanic semiautomat, cu contacte laterale
	C	
call	call	a chema, chem, apel indicativ
cfm	confirm	a confirma, confirm a închide,
cl	close	închid
co	crystal oscillator	oscilator cu cristal
cond, condx	conditions	condiții de propagare
congrats	congratulations	felicitări
cq	seek you	apel general

Expresia	Cuvintele de origine	Semnificaţia
cq dx		apel general pentru staţii îndepărtate
cq m	cq mir (rusă)	apel general în concursul mondial sovietic
cq ww	cq world wide	concurs organizat de revista CQ
crd	card	QSL (vă confirm recepţia)
cuagn	see you again	pe curînd, din nou
cul	see you later	pe mai tîrziu
cw	continuous wave	telegrafie A1
	D	
dc	direct current	curent continuu
de	de (fr.)	(chemat) de...
dk	Dank,danke (germ.)	mulţumesc
dr	dear	dragă
dx	distant expedition	staţie la mare distanţă
	E	
elbug	electronic bug	manipulator electronic
es	&	şi
	F	
fb	fine business	treabă bună, foarte bine
fer	for	pentru
fu	frequency modulation	modulaţie de frecvenţă
fone	telephony	telefonie
fr	for	pentru
frd	friend	prieten, prietenă
fsk	frequency shift keying	telegrafie F1
	G	
ga	guten Abend (germ.)	bună ziua (după ora 12)
ga	go aheead	începeţi, daţi-i drumul
gain	gain	amplificare, cîştig
gb	good-bye	rămas bun
gba	give better address	dă-mi o adresă mai bună
gd	good	bun, bună
ge	good evening	bună seara
gl	good luck	noroc bun
gld	glad	bucuros
gm	Greenwich Mean Time	ora medie după Greenwich (folosit incorect în loc de gct)
gn	good night	noapte bună,
gnd	grounk	pămînt, sol
gp	ground plane	antenă verticală
gt	guten Tag (germ.)	bună ziua

Expresia	Cuvintele de origine	Semnificația
	H	
ham		radioamator emițător
ham shack	ham shack	cămăruța radioamatorului
ham spirit	ham spirit	spiritul de solidaritate al radioamatorilor
handle	handle	operator
hf	high frequency	radiofrecvență; frecvențele între 3 și 30 MHz
hi	high	înalt, superior
hpe	hope, hoping	sper, speranță, sperînd
hr	here	aici
hrd	heard	auzit
hw?	how?	cum (m-ați recepționat)?
	I	
I	I	eu
I.A.R.U.	International Amateur Radio Union	Uniunea Internațională de radioamatorism
if	intermediate frequency	frecvență intermediară
info	information	informație
irc	International Reply Coupon	cupon internațional de răspuns
I.T.U.	International Telecomunication Union	Uniunea Internațională de telecomunicații
	K	
k	ey (= manipulator)	transmiteți
kn	key, not (others)	transmiteți (numai pentru stația deja angrenată în legătură)
	L	
lf	low frequency	audiofrecvență
lf	low frequency	frecvențele între 30 și 300 kHz
lis	licens (d)	autorizație, autorizat
log	log-book	jurnal de stație; fișă de participare în concursuri
lsb	lower sideband	bandă laterală inferioară
luf	lowest usable frequency	frecvență minimă utilizabilă
lw	long wire	antenă „fir-lung“
	M	
min(s)	minute(s)	minute
mni	many	mulți
mtr	meter, metre	metru
muf	maximum usable frequency	frecvență maximă utilizabilă
my	my	al meu

Expresia	Cuvintele de origine	Semnificația
	N	
net	net	rețea
nil, nir	nil	nimic, zero
no	no	nu
nr	near	lîngă, aproape
nr	number	număr
nw	new	nou
	O	
ob	old boy	prieten (amical)
ok	O.K., okay	perfect, foarte bine, desigur, de acord
om	old man	prieten; radioamator emițător
op	operator	operator
osc	oscillator	oscilator
ot	old timer	radioamator veteran
ow	old woman	soție (radioamatoare)
	P	
pa	power amplifier	amplificator de putere
pep	peak envelope power	putere de vîrf la înfășurătoare
pm	post meridiem (lat.)	după amiază
pse	please	vă rog
pwr	power	putere
	R	
r	right	recepționat corect
rcvr	receiver	receptor
rf	radio frequency	radiofrecvență
rig	rig	aparatură
rprt	report	raport de recepție
rpt	report	raport de recepție
rtty	radioteletype	radioteleimprimare
	S	
sae	self-addressed-envelope	plic cu propria adresă
sase	self-addressed stamped envelope	plic cu propria adresă ștampilat
sayonara	sayonara (jap.)	la revedere
shf	super high frequency	frecvență suprainaltă (3—30 GHz)
sigs	signals	semnale
sk	silent key	sfîrșitul legăturii
sked	schedule	legătură programată

Expresia	Cuvintele de origine	Semnificația
sn	soon	curînd
sri	sorry	regret
ssb	single sideband	telefonie A3J
stn, stns	station(s)	stație, stații
sure	sure	singur
swl	short wave listener	radioamator receptor pe unde scurte
swr	standing waves ratio	raport de unde staționare sincron
	T	
test	test	probă
tks	thanks	mulțumiri
tmw	tomorrow	mîine
trix	tricks	procedee, șiretlicuri
tvi	television interference	perturbare a recepției de televiziune
tx	transmitter	emițător
	U	
u	you	tu, dumneata, dumneavoastră
ufb	ultra fine business	foarte, foarte bine
uhf	ultra high frequency	frecvență ultraînaltă (300—3000 MHz)
unlis	unlicensed	neautorizat
ur	your	tău, dumneavoastră
usb	upper sideband	bandă laterală superioară
utc	universal time coordited	ora universală (a meridianului zero), GCT
	V	
v	von (germ.)	de la
vfo	variable frequency oscillator	oscilator de frecvență variabilă
vhf	very high frequency	frecvențele între 30 și 300 MHz
vl	viel	mult
vlf	very low frequency	frecvențe între 3 și 30 MHz
vxo	variable crystal oscillator	oscilator cu cristal cu frecvență variabilă
vy	very	foarte
	W	
Wid	with	cu
wkd	worked	lucrînd, lucru
wll	will	voi, vom, am să ... cînd
wpm	words per minute	cuvinte pe minut
wx	weater	timp meteo

Expresia	Cuvintele de origine	Semnificația
	X	
xcus	escuse	scuze
xmas	Christmas	Crăciun
xmtr	transmitter	emițător
xtal, xtl	crystal	cristal
xyl	ex young lady	soție
	Y	
yes	yes	da
yl	young lady	radioamatoare tînără
	CIFRE	
55		mult succes
73		salutări
88		sărutări
99		dispari

ANEXA 2

Simboluri folosite la codificarea claselor de emisiuni

Clasele de emisiuni sînt desemnate prin trei simboluri alfanumerice a căror semnificație este următoarea:

— primul simbol ...... tipul modulației
— al doilea simbol ...... natura semnalului modulator
— al treilea simbol ...... tipul informației transmise

Primul simbol

N — emisiuni cu purtătoare nemodulată

Emisiuni cu modulație în amplitudine

A — bandă laterală dublă
H — bandă laterală unică cu purtătoare completă
R — bandă laterală unică cu purtătoare redusă
J — bandă laterală unică cu purtătoare suprimată
B — benzi laterale independente
C — rest de bandă laterală

Emisiuni cu modulație unghiulară

F — modulație în frecvență
G — modulație în fază
D — emisiuni MA și unghiulară simultan sau secvențial.

Emisiuni cu modulație în impulsuri

P — secvențe de impulsuri nemodulate
K — secvențe de impulsuri MA.
L — impulsuri modulate în durată.
M — impulsuri modulate în poziție/fază
Q — purtătoare modulată unghiular pe durata impulsului.

Al doilea simbol

0 — semnal nemodulat.
1 — canal singular cu informații cuantizate sau digitale afară de subpurtătoare modulată
2 — canal cu informație cuantizată sau digitală cu subpurtătoare modulată
3 — canal cu informație analogică
7 — două sau mai multe canale cu informație analogică
9 — sistem complex cu unul sau mai multe informații cuantizate sau digitale

Al treilea simbol

N — nu se transmite informație.
A — telegrafie audio
B — Telegrafie pentru recepție audio
C — facsimile
D — transmisii date, telemetrie, telecomandă
F — televiziune (video)

Clasele de emisiuni

Modulație în amplitudine

Emisiuni cu bandă laterală dublă pe un singur canal care conține informație cuantizată sau digitală, fără a se folosi o subpurtătoare modulată

A1A	Telegrafie Morse
A1B	Telegrafie audio
A1B	Facsimile
A1D	Transmisii de date, telemetrie, telecomandă

Emisiuni cu bandă laterală dublă pe un singur canal care conține informație cuantizată sau digitală, cu folosirea unei subpurtătoare modulate.

A2A	Telegrafie Morse
A2B	Telegrafie audio
A2C	Facsimile
A2D	Transmisii de date, telemetrie, telecomandă

Emisiuni cu bandă laterală dublă pe un singur canal care conține informație analogică.

A3C	Facsimile
A3E	Telefonie
A3F	Televiziune

Emisiuni cu rest de bandă laterală pe un singur canal care conține informație analogică

C3F	Televiziune

Emisiuni cu bandă laterală unică cu purtătoare suprimată, un singur canal care conține informații digitale sau cuantizate cu subpurtătoare modulată.

J2A	Telegrafie morse
J2B	Telegrafie audio
J2C	Facsimile
J2D	Transmisii date, telemetrie, telecomandă

Emisiuni cu bandă laterală unică cu purtătoare suprimată, un singur canal care conține informație analogică.

J3C	Facsimile
J3E	Telefonie
J3F	Televiziune

Emisiuni cu bandă laterală unică și purtătoare redusă, un singur canal care conține informație analogică.

R3E	Telefonie
N0N	Purtătoare nemodulată (pentru verificări)

EMISIUNI CU PURTĂTOARE MODULATĂ UNGHIULAR

Emisiuni cu purtătoare modulate în frecvență, un singur canal care conține informații cuantizate sau digitale, fără a folosi o subpurtătoare modulată.

F1A	Telegrafie Morse
F1B	Telegrafie audio
F1C	Facsimile
F1C	Telemetrie

Emisiuni cu purtătoare modulată în frecvență, un singur canal care conține informații cuantizate sau digitale folosind o subpurtătoare modulată .

F2A	Telegrafie Morse
F2B	Telegrafie audio
F2G	Facsimile
F2D	Telemetrie

Emisiuni cu purtătoare modulată în frecvență, un singur canal care conține informații analogice

F3F	Facsimile
F3E	Telefonie
F3F	Televiziune

ANEXA 3
Prefixele radioamatorilor europeni

C3	Andorra	OK	Cehoslovacia
CT	Portugalia	ON	Belgia
DL, DK	Republica Federală a Germaniei	OZ	Danemarca
EA	Spania	PA	Olanda
EI	Irlanda	SM	Suedia
F	Franța	SP	Polonia
G	Marea Britanie	SV	Grecia
HA	Ungaria	TA	Turcia
HB	Elveția	UA	URSS
HB 0	Liechtenstein	Y0 ... Y9	Republica Democrată Germană
HV	Vatican	YO	România
I	Italia	YU	Iugoslavia
LA	Norvegia	ZA	Albania
LX	Luxemburg	3A	Monaco
LZ	Bulgaria	4U	Națiunile Unite
OE	Austria	9H	Malta
OH	Finlanda		

ANEXA 4
Prefixele de radiocomunicații

AAA-ALZ	Statele Unite ale Americii	APA-ASZ	Pakistan
		ATA-AWZ	India
AMA-AOZ	Spania	AXA-AXz	Australia

AYA-AZZ	Argentina
A2A-A2Z	Botswana
A3A-A3Z	Tonga
A4A-A4Z	Oman
A5A-A5Z	Bhutan
A6A-A6Z	Emiratele Arabe Unite
A7A-A7Z	Oatar
A8A-A8Z	Liberia
A9A-A9Z	Bahrein
BAA-BZZ	China
CAA-CEZ	Chile
CFA-CKZ	Canada
CLA-CMZ	Cuba
CNA-CNZ	Maroc
COA-COZ	Cuba
CPA-CPZ	Bolivia
CQA-CQZ	Provincii portugheze
CSA-CUZ	Portugalia
CVA-CXZ	Uruguay
CYA-CZZ	Canada
C2A-C2Z	Nauru
C3A-C3Z	Andorra
C4A-C4Z	Cipru
C5A-C5Z	Gambia
C6A-C6Z	Bahamas
C7A-C7Z	Organizația Mondială de Meteorologie
C8A-C9Z	Mozambic
DAA-DZZ	Republica Federală a Germaniei
DUA-DZZ	Filipine
D2A-D3Z	Angola
D4A-D4Z	Insulele Capului Verde
D5A-D5Z	Liberia
D6A-D6Z	Comore
D7A-D9Z	Corea
EAA-EHZ	Spania
EIA-EJZ	Irlanda
EKA-EKZ	URSS
ELA-ELZ	Liberia
EMA-EOZ	URSS
EPA-EQZ	Iran
ERA-ERZ	URSS
ESA-ESZ	Estonia
ETA-ETZ	Etiopia
EUA-EWZ	Bielorusia
EXA-EEZ	URSS
FAA-FZZ	Franța și teritoriile de peste mări
GAA-GZZ	Marea Britanie și Irlanda de nord
HAA-HAZ	Ungaria
HBA-HBZ	Elveția
HCA-HDZ	Ecuador
HEA-HEZ	Elveţia
HFA-HFZ	Polonia
HGA-HGZ	Ungaria
HHA-HHZ	Haiti
HIA-HIZ	Republica Dominicană
HJA-HKZ	Columbia
HLA-HMZ	Coreea
HNA-HNZ	Irak
HOA-HPZ	Panama
HQA-HRZ	Honduras
HSA-HSZ	Tailanda
HTA-HTZ	Nicaragua
HUA-HUZ	Salvador
HVA-HVZ	Vatican
HVA-HYZ	Franța și teritoriile de peste mări
HZA-HZZ	Arabia Saudită
H2A-H2Z	Cipru
H3A-H3z	Pánama
H4A-H4Z	Insulele Solomon
H5A-H5Z	Bophuthalswana
H6A-H7Z	Nicaragua
H8A-H9Z	Panama
IAA-IZZ	Italia
JAA-JSZ	Japonia
JTA-JVZ	Mongolia
JWA-JXZ	Norvegia
JYA-JYZ	Iordania
JZA-JZZ	Guineea de Vest
J2A-J2Z	Djibuti
J3A-J3Z	Grenada
J4A-J4Z	Grecia
J5A-J5Z	Guinea Bissau
J6A-J6Z	St. Lucia
J7A-J7Z	Dominica
J8A-J8Z	St. Vincent
KAA-KZZ	Statele Unite ale Americii
LAA-LNZ	Norvegia
LOA-LWZ	Argentina
LXA-LXZ	Luxemburg
LYA-LYZ	Lituania
LZA-LZZ	Bulgaria
L2A-L9Z	Argentina
MAA-MZZ	Marea Britanie și Irlanda de Nord
NAA-NZZ	Statele Unite ale Americii
OAA-OCZ	Peru
ODA-ODZ	Liban
OEA-OEZ	Austria
OFA-OFZ	Finlanda
OKA-OMZ	Cehoslovacia
ONA-OTZ	Belgia
OUA-OZZ	Danemarca
PAA-PIZ	Olanda
PJA-PJZ	Antilele Olandeze
PKA-PCZ	Indonezia
PPA-PYZ	Brazilia
PZA-PZZ	Surinam
P2A-P2Z	Papua Noua Guinee
P3A-P3Z	Cipru
P4A-P4Z	Antilele Olandeze
P5A-P9Z	Republica Populară Democrată Coreeană
RAA-RZZ	URSS
SAA-SMZ	Suedia
SNA-SRZ	Polonia
SSA-SSM	Egipt
SSN-STZ	Sudan
SUA-SUZ	Egipt
SVA-SZZ	Grecia

S2A-S3Z	Bangla Desh	YMA-YMZ	Turcia
S6A-S6Z	Singapore	YNA-YNZ	Nicaragua
S7A-S7Z	Seychelles	YOA-YRZ	România
S8A-S8Z	Transkey	YSA-YSZ	Salvador
S9A-S9Z	St. Tome e Principe	YTA-YUZ	Jugoslavia
TAA-TCZ	Turcia	YVA-YYZ	Venezuela
TDA-TDZ	Guatemala	YZA-YZZ	Jugoslavia
THA-THZ	Franța și teritoriile de peste mări	Y2A-Y9Z	Republica Democrată Germană
TIA-TIZ	Costa Rica	ZAA-ZAZ	Albania
TKA-TKZ	Franța și teritoriile de peste mări	ZBA-ZJZ	Teritoriile de peste mări ale Mării Britanii
TLA-TLZ	Republica Centrafricană	ZKA-ZMZ	Noua Zeelandă
TMA-TMZ	Franța și teritoriile de peste mări	ZNA-ZOZ	Teritoriile de peste mări ale Marii Britanii
TNA-TNZ	Congo Brazaville	ZPA-ZPZ	Paraguay
TOA-TOZ	Franța și teritoriile de peste mări	ZQA-ZQZ	Teritoriile de peste mări ale Marii Britanii
TRA-TRZ	Gabon	ZRA-ZUZ	Republica Sudafricană și Africa de Sud-Vest
TSA-TSZ	Tunis		
TTA-TTZ	Ciad	ZVA-ZZZ	Brazilia
TUA-TUZ	Cote d'Ivoire	Z2A-Z2Z	Zimbabwe
TVA-TXZ	Franța și teritoriile de peste mări	2AA-2ZZ	Marea Britanie și Irlanda de Nord
TYA-TYZ	Benin	3AA-3AZ	Monaco
TZA-TZZ	Mali	3BA-3BZ	Mauriciu
T2A-T2Z	Tuva	3CA-3CZ	Guinea Ecuatorială
T3A-T3Z	Kiribati	3DA-3DM	Swasiland
T4A-T4Z	Cuba	3DN-3DZ	Insulele Fidji
T5A-T5Z	Somalia	3EA-3FZ	Panama
T6A-T6Z	Afganistan	3GA-3GZ	Chile
T7A-T7Z	San Marino	3HA-3UZ	China
UAA-UQZ	URSS	3XA-3XZ	Guineea
URA-UTZ	URSS	3YA-3YZ	Norvegia
UUA-UZZ	URSS	3ZA-3ZZ	Polonia
VAA-VGZ	Canada	4AA-4CZ	Mexico
VHA-VNZ	Australia	4DA-4IZ	Filipine
VOA-VOZ	Canada	4JA-4LZ	URSS
VPA-VSZ	Teritoriile de peste mări ale Marii Britanii	4MA-4MZ	Venezuela
		4NA-4QZ	Jugoslavia
VTA-VWZ	India	4PA-4SZ	Sri Lanka
VXA-VYZ	Canada	4TA-4TZ	Peru
VZA-VZZ	Australia	4UA-4UZ	Națiunile Unite
V2A-V3Z	Antigua	4VA-4VZ	ICAO
WAA-WZZ	Statele Unite ale Americii	4ZA-4ZZ	Israel
		5AA-5AZ	Libia
XAA-XIZ	Mexico	5BA-5BZ	Cipru
XJA-XOZ	Canada	5GA-5GZ	Maroc
XPA-XPZ	Danemarca	5HA-5IZ	Tanzania
XQA-XRz	Chile	5JA-5KZ	Columbia
XSA-XSZ	China	5LA-5MZ	Liberia
XTA-XTZ	Volta Superioară	5NA-5OZ	Nigeria
XUA-XUZ	Khmeria	5PA-5UZ	Niger
XVA-XWZ	Laos	5VA-5VZ	Togo
XXA-XXZ	Provinciile de peste mări ale Portugaliei	5WA-5WZ	Samoa de Vest
		5XA-5XZ	Uganda
XYA-XZZ	Birmania	6AA-6BZ	Egipt
YAA-YAZ	Afganistan	6CA-6CZ	Siria
YBA-YHZ	Indonezia	6DA-6JZ	Mexico
YIA-YIZ	Irak	6KA-6NZ	Coreea
YJA-YJZ	Noile Hebride	6OA-6OZ	Somalia
YKA-YKZ	Siria	6PA-6SZ	Pakistan
YLA-YLZ	Letonia	6TA-6UZ	Sudan

6VA-6WZ	Senagal	8SA-8SZ	Suedia
6XA-6XZ	Madagascar	8TA-8YZ	India
6YA-6YZ	Jamaica	8ZA-8ZZ	Arabia Saudită
6ZA-6ZZ	Liberia	9AA-9AZ	San Marino
7AA-7IZ	Indonezia	9BA-9DZ	Iran
7JA-7NZ	Japonia	9EA-9FZ	Etiopia
7OA-7OZ	Yemen	9GA-9GZ	Ghana
7PA-7PZ	Lesotho	9HA-9HZ	Malta
7QA-7QZ	Malawi	9IA-9JZ	Zambia
7RA-7RZ	Algeria	9LA-9LZ	Sierra Leone
7SA-7SZ	Suedia	9MA-9MZ	Malaysia
7TA-7YZ	Algeria	9NA-9NZ	Nepal
7ZA-7ZZ	Arabia Saudită	9OA-9TZ	Zaire
8AA-8IZ	Indonezia	9UA-9UZ	Burundi
8JA-8NZ	Japonia	9VA-9VZ	Singapore
8OA-8OZ	Botswana	9WA-9WZ	Malaysia
8PA-8PZ	Barbados	9XA-9XZ	Ruanda
8QA-8QZ	Maldive	9YA-9ZZ	Trinidad și Tobago
8RA-8RZ	Guyana		

ANEXA 5
Codul Q

Expresia	Întrebare	Răspuns
QRG	Vreți să-mi indicați frecvența mea exactă (frecvența exactă a lui ...)	Frecvența exactă este ... kHz (sau MHz)
QRH	Frecvența mea variază?	Frecvența dvs, variază
QRI	Cum este tonul emisiunii mele	Tonul emisiunii dvs, este 1. bun 2. variabil 3. rău
QRK	Care este inteligibilitatea semnalelor mele?	Inteligibilitatea semnalelor dv. este 1. rea 2. mediocră 3. destul de bună 4. bună 5. excelentă
QRL	Sînteți ocupat?	Sînt ocupat (Sînt ocupat cu ...) Vă rog nu perturbați
QRM	Sînteți interferat?	Sînt interferat 1. nu sînt deloc interferat 2. ușor 3. moderat 4. puternic 5. foarte puternic
QRN	Sînteți deranjați de paraziți atmosferici?	Sînt deranjat de paraziți (1 ÷ 5 ca mai sus)
QRO	Să măresc puterea emisiunii?	Măriți puterea emisiunii
QRS	Să transmit mai lent?	Transmiteți mai lent (cuvinte pe minut)
QRT	Să încetez transmiterea?	Încetați emisiunea (transmiterea)
QRU	Aveți ceva pentru mine?	Nu am nimic pentru dv.
QRV	Sînteți gata?	Sînt gata.
QRX	Cînd mă veți chema din nou?	Vă voi chema din nou la ora... (pe... kHz (MHz).
QRZ	Cine mă cheamă?	Vă cheamă ... (pe ... kHz (MHz).

Expresia	Întrebare	Răspuns
QSA	Care este tăria semnalelor mele (a semnalelor lui?)	Tăria semnalelor dv. este 1. abia perceptibilă 2. slabă 3. destul de bună 4. bună 5. foarte bună
QSB	Tăria semnalelor mele variază?	Tăria semnalelor dv. variază.
QSD	Manipulaţia mea este defectuoasă?	Manipulaţia dv. este defectuoasă
QSK	Mă puteţi auzi între semnalele dv? În caz afirmativ vă pot întrerupe în timpul transmiterii?	Vă pot auzi între semnalele mele; mă puteţi întrerupe în timpul transmiterii.
QSL	Îmi puteţi confirma recepţia?	Vă confirm recepţia.
QSO	Puteţi lua legătura cu... direct (prin intermediul lui ...)?	Pot lua legătura cu... direct (prin intermediul lui ...).
QSP	Puteţi retransmite lui ... gratuit?	Pot retransmite lui ... gratuit
QSU	Să transmit sau să răspund pe frecvenţa actuală (pe... kHz(MHz) (în emisiune de clasă...)?	Transmiteţi sau răspundeţi pe frecvenţa actuală (pe ... kHz (MHz) (în emisiune de clasă...).
QSV	Să transmit o serie de V pe această frecvenţă (pe... kHz (MHz)?	Transmiteţi o serie de V pe această frecvenţă (pe .... kHz (MHz).
QSY	Să trec la transmiterea pe altă frecvenţă?	Treceţi la transmiterea pe altă frecvenţă (pe ... kHz (MHz)).
QTC	Cîte telegrame aveţi de transmis?	Am ... telegrame pentru dv.
QTH	Care este poziţia dv. în latitudine şi longitudine (sau în oricare mod de indicare)?	Poziţia mea ... latitudine ... longitudine (sau...)
QTR	Care este ora exactă?	Ora exactă este....

ANEXA 6

Staţii etalon de frecvenţă

Indicatorul staţiei	Localitatea şi ţara	Frecvenţa de lucru
ATA	New Delhi — India	5, 10, 15 MHz
BPV	Shanghai — China	5, 10, 15 MHz
BSF	Taipei — Taiwan	5, 15 MHz
CHU	Ottawa — Canada	3 300, 7335, 14 670 KHz
DCF 77	Mainfligen — R.D. Germania	77, 5 KHz
DGI	Oranienburg — R.F. Germania	185 MHz
FFH	Paris — Franţa	2,5 MHz
GBR	Rugny — Anglia	16 KHz
HBG	Prangins — Elveţia	75 KHz
IBF/IAM	Roma şi Torino — Italia	5 MHz
JG2AE	Sanwa — Japonia	8 MHz
JG2AS	Sanwa — Japonia	40 KHz
JJF2	Chiba — Japonia	40 KHz
JJY	Sanwa — Japonia	2.5., 5, 10, 15 MHz

Indicatorul stației	Localitatea și țara	Frecvența de lucru
LOL	Buenos Aires — Argentina	5, 10, 15 MHz
MSF	Rugby — Anglia	60 KHz, 2.5, 5, 10 MHZ
NBA	Canal zone — Panama	24 KHz
OMA	Praga — Cehoslovacia	50 KHz, 2.5. MHz
OLBS5	Praga — Cehoslovacia	3170 KHz
RAT	Moscova — URSS	5 MHz
RBU	Moscova — URSS	66, 67 KHz
RIM	Tașkent — URSS	5, 10 MHz
RTA	Novossibirsk — URSS	10, 15 MHz
RTZ	Irkutsk — URSS	50 KHz
VNG	Lyndhurst — Australia	4.5, 7.5, 12 MHz
VPS/HKG	Hong — Kong	38, 500, 5519, 8903 KHz și 95 MHz
WWV	Font Collins — Colorado-SUA	2.5, 5, 10, 15 MHz
WWVB	Font Collins — Colorado-SUA	60 KHz
WWVH	Kauai — Hawai	2.5., 5, 10, 15 MHz
YBTO	Caracas — Venesuela	6.1. MHz
ZLFS	Lower Hutt — Noua Zeelandă	2.5. MHz
ZUO	Johannesburg — Africa de sud	2.5, 5, 10 MHz

ANEXA 7

Tabel de conversiune a decibelilor

Raport subunitar			Raport supraunitar	
Tensiune	Putere	decibeli	tensiune	Putere
1,0	1,0	0	1,0	1,0
,9886	,9772	,1	1,012	1,023
,9772	,9550	,2	1,023	1,047
,9661	,9333	,3	1,035	1,072
,9550	,9120	,4	1,047	1,096
,9441	,8913	,5	1,059	1,122
,9333	,8710	,6	1,072	1,148
,9226	,8511	,7	1,084	1,175
,9120	,8318	,8	1,096	1,202
,9016	,8128	,9	1,109	1,230
,8913	,7943	1,0	1,122	1,259
,8710	,7586	1,2	1,148	1,318
,8511	,7244	1,4	1,175	1,380
,8318	,6918	1,6	1,202	1,445
,8128	,6607	1,8	1,230	1,514
,7943	,6310	2,0	1,259	1,585
,7762	,6026	2,2	1,288	1,660
,7586	,5754	2,4	1,318	1,738
,7413	,5495	2,6	1,349	1,820
,7244	,5248	2,8	1,380	1,905
,7079	,5012	3,0	1,413	1,995

Raport subunitar			Raport supraunitar	
Tensiune	Putere	decibeli	Tensiune	Putere
,6683	,4467	**3,5**	1,496	2,239
,6310	,3981	**4,0**	1,585	2,512
,5957	,3548	**4,5**	1,679	2,818
,5623	,3162	**5,0**	1,778	3,162
,5309	,2818	**5,5**	1,884	3,548
,5012	,2512	**6**	1,995	3,981
,4467	,1995	**7**	2,239	5,012
,3981	,1585	**8**	2,512	6,310
,3548	,1259	**9**	2,818	7,943
,3162	,1000	**10**	3,162	10,000
,2818	,07943	**11**	3,548	12,59
,2512	,06310	**12**	3,981	15,85
,2239	,05012	**13**	4,467	19,95
,1995	,03981	**14**	5,012	25,12
,1778	,03162	**15**	5,623	31,62
,1585	,02512	**16**	6,310	39,81
,1413	,01995	**17**	7,079	50,12
,1259	,01585	**18**	7,943	63,10
,1122	,01259	**19**	8,913	79,43
,1000	,01000	**20**	10,000	100,00
,07943	,006310	**22**	12,59	158,5
,06310	,003981	**24**	15,85	251,2
,05012	,002512	**26**	19,95	398,1
,03981	,001585	**28**	25,12	631,0
,03162	,001000	**30**	31,62	1 000
,02512	,0006310	**32**	39,81	1 585
,01995	,0003981	**34**	50,12	2 512
,01585	,0002512	**36**	63,10	3 981
,01259	,0001585	**38**	79,43	6 310
,01000	,0001000	**40**	100,00	10 000
,007943	,00006310	**42**	125,9	15 850
,006310	,00003981	**44**	158,5	25 120
,005012	,00002512	**46**	199,5	39 810
,003981	,00001585	**48**	251,2	63 100
,003162	,00001000	**50**	316,2	100 000
,002512	$6,310 \times 10^{-6}$	**52**	398,1	158 500
,001995	$3,981 \times 10^{-6}$	**54**	501,2	251 200
,001585	$2,512 \times 10^{-6}$	**56**	631,0	398 100
,001259	$1,585 \times 10^{-6}$	**58**	794,3	631 000
,001000	10^{-6}	**60**	1 000	10^{6}
,0005623	$3,162 \times 10^{-7}$	**65**	1 778	$3,162 \times 10^{6}$
,0003162	10^{-7}	**70**	3 162	10^{7}
,0001778	$3,162 \times 10^{-8}$	**75**	5 623	$3,162 \times 10^{7}$
,0001000	10^{-8}	**80**	10 000	10^{8}
,00005623	$3,162 \times 10^{-9}$	**85**	17 780	$3,162 \times 10^{8}$
,00003162	10^{-9}	**90**	31 620	10^{9}
,00001000	10^{-10}	**100**	100 000	10^{10}
$3,162 \times 10^{-6}$	10^{-11}	**110**	316 200	10^{11}
10^{-6}	10^{-12}	**120**	10^{6}	10^{12}
$3,162 \times 10^{-7}$	10^{-13}	**130**	$3,162 \times 10^{6}$	10^{13}
10^{-7}	10^{-14}	**140**	10^{7}	10^{14}

ANEXA 8

Sistemul european de marcare și codificare a dispozitivelor semiconductoare discrete

Material de bază	Funcția	Numărul de serie	Alte indicații
A — Germaniu B — Siliciu C — Arseniură de Galiu D — R — material cu structură complexă (pentru celule fotoelectrice)	A — diodă de semnal B — diodă varicap C — tranzistor de JF de mică putere D — tranzistor de JF de putere E — diodă tunel F — tranzistor de IF de mică putere G — componente complexe H — dispozitiv semiconductor sensibil la cîmp magnetic K, M — generator Hall L — tranzistor de IF de putere N — optocuplor P — detector de radiații Q — generator de radiații R — Dispozitiv de comandă în comutație (tiristor) S — tranzistor de comutație de mică putere T — dispozitiv de comandă în comutație de putere tiristor fototiristor U — tranzistor de comutație de putere X — diodă multiplicatoare sau varactor Y — diodă redresoare de putere Z — diodă Zener	trei cifre (100 ... 999) pentru componente de uz curent o literă și două cifre pentru componente de uz profesional	literă ce indică varianta Pentru diode Zener o literă toleranța tensiunii două litere separate prin litera V — tensiunea medie Zener (în volți)

Sistemul românesc de notare

Cod specific producătorului	Funcţia	număr de identificare
RO (Romania)	A — tranzistor cu Ge, de mică putere B — circuit integrat bipolar C — tiristor D — diodă de semnal mic F — ansamblu de diode redresoare H — circuit integrat hibrid L — dispozitiv optoelectronic M — circuit integrat MOS P — tranzistor cu Si de putere R — diodă redresoare S — tranzistor cu Si de mică putere V — diodă tunel, varactor, varicap X — dispozitiv experimental Z — diodă Zener.	01—9999

ANEXA 9

Benzile de frecvenţe alocate radioamatorilor
Regiunea 1.

1810... 1890 kHz banda de 160 m
3500... 3800 kHz banda de 80 m
7000... 7100 kHz banda de 40 m
10100...10150 kHz banda de 30 m
14000...14350 kHz banda de 20 m
18068..18168 kHz banda de 17
21000...21450 kHz banda de 15 m
24890...24990 kHz banda de 12 m
28000...29700 kHz banda de 10 m
144... 146 kHz banda de 2 m
430... 440 MHz banda de 70 cm
1240...1300 MHz banda de 23 cm
2300...2450 MHz banda de 13 cm
5560...5850 MHz banda de 5 cm
10... 115 GHz banda de 3 cm
24.... 24,25 GHz banda de 12,5 mm
47... 47,2 GHz banda de 6 mm
75,5... 81 GHz banda de 4 mm
119,98...120,02 GHz banda de 2,5 mm
142 ...149 GHz banda de 2 mm
241 ...250 GHz banda de 1,2 mm

Radioamatorii din Romania sînt autorizaţi să lucreze în benzile de 160, 80, 40, 20, 15, 10 şi 2 metri şi în benzile de 70, 23, 13, 5, 3 cm precum şi în banda de 15 mm.

ANEXA 10

Planuri de bandă

Planul benzii de 160 m (1810...1850 kHz)

1810...1840 kHz telegrafie
1810...1838 kHz telegrafie exclusiv
1840±2 kHz radiotelex
1840...1850 kHz telefonie şi telegrafie

Planul benzii de 80 m (3500...3800 kHz)

3500...3600 kHz telegrafie
3500...3510 kHz telegrafie, trafic DX
3500...3560 concursuri de telegrafie
3500...3580 kHz telegrafie exclusiv
3540 frecvenţă internaţională
3580...3600 kHz telegrafie (radioamatori clasa VI)
3580...3800 kHz radiotelex şi telegrafie
3600...3800 kHz telefonie şi telegrafie
3600 + cîţiva kHz — frecvenţă internaţională

3600...3650 kHz concursuri în telefonie
3600...3650 kHz telefonie și telegrafie (radioamatori cl VI
3635...3650 kHz trafic DX în URSS
3730...3740 kHz televiziune cu baleiaj lent
3735 ± 5 kHz frecvență de apel pentru televiziune cu baleiaj lent
3775...3800 kHz telefonie, trafic DX

Planul benzii de 40 m (7000...7100 kHz)

7000...7040 kHz telegrafie
7000...7035 kHz telegrafie, exclusiv
7035...7045 kHz radiotelex, telegrafie, TVBL
7030 și 7040 kHz — frecvența internaționale QRP
7040 ± 5 kHz frecvență de apel TVBL
7040...7100 kHz telegrafie și telefonie

Planul benzii de 20 m (14000...14350 kHz)

14000...14100 kHz telegrafie
14000...14070 kHz telegrafie exclusiv
14000...14060 kHz concursuri în telegrafie
14065 kHz frecvență internațională QRP
14070...14099 kHz radiotelex și telegrafie
14000 ± 1 kHz radiobalize internaționale
14100 frecvență internațională QRP
14100...14350 kHz telefonie și telegrafie
14100...14120 kHz trafix DX în limba franceză
14125...14300 kHz concursuri în telefonie
14225...14235 kHz televiziune cu baleiaj lent
14230 ± 5 kHz frecvență de apel pentru TVBL

Planul benzii de 15 m (21000...21450 kHz)

21000...21150 kHz telegrafie
21000...21080 kHz telegrafie exclusiv
21040 kHz frecvență internațională QRP
21080...21120 kHz radiotelex și telegrafie
21120...21150 kHz telegrafie exclusiv
21150 kHz — 1kHz radiobalize internaționale
21150 kHz plus câțiva kHz frecvență internațională QRP
21150 kHz...21450 kHz telefonie și telegrafie
21335...21345 kHz televiziune cu baleiaj lent

Planul benzii de 10 m (28000...29700 kHz)

28000...28200 kHz telegrafie
28000...28050 kHz telegrafie exclusiv
28040 kHz frecvență internațională QRP
21080 kHz...21120 kHz radiotelex și telegrafie
21120...21150 kHz telegrafie, exclusiv
21150 kHz ± 1 kHz radiobalize internaționale
21150 plus câțiva kHz frecvență internațională QRP

Planul benzii de 10 m (28000...29700 kHz)

28000...28200 kHz telegrafie
28000...28050 kHz telegrafie exclusiv
28040 kHz frecvență internațională QRP
29050...28158 kHz radiotelex și telegrafie
28150...28190 kHz telegrafie exclusiv
28200...29700 kHz telefonie și telegrafie
28190...28300 kHz telefonie radiobalize internaționale
28250...29 000 kHz telefonie și telegrafie (radioamatori de clasa a III-a)
28200...29300 kHz telefonie și telegrafie
28675...28685 kHz televiziune cu baleiaj lent
29300...29400 kHz telefonie

29300...29550 kHz nu se va folosi modulația de frecvență
29400...29550 kHz frecvențe pentru serviciu prin satelit legătura descedentă
29550...29700 kHz telefonie și telegrafie

Planul benzii de 2 m (144...146 MHz)

144,000...144,150 MHz telegrafie
144,000...144.015 MHz trafic Lună-Pămînt, eventual pînă la 144.030 MHz
144,050 MHz frecvență alocată pentru legături tropo
144,100 MHz frecvență alocată pentru legături prin reflexie meteoritică,
144,100...144,126 MHz trafic de legături aleatorii (n-programate) prin reflexie meteoritică
144,100...144,150 trafic prin reflexie meteoritică
144,150...144,500 MHz telefonie (numai BLU)
144,300 MHz frecvență de apelBLU
144,400...144,426 MHz legături (neprogramate) prin reflexie meteoritică în BLU
144,500...144,850 MHz toate modurile de lucru
144,500 MHz frecvență de apel pentru televiziune cu baleiaj lent
144,600 MHz canal simplex radiotelex pentru traficul DX
144,640 MHz frecvență canal intrare MF, radiotelex
144,650...144,675 MHz transmisii de date (frecvența de apel este 144,675 MHz)
144,700 MHz frecvență de apel facsimil
144,750 MHz frecvență de apel și răspuns pentru televiziunea de amator
144,850...145,000 MHz radiobalize
145,000...145,225 MHz frecvențe de intrare ale releelor de emisiuni cu modulație de frecvență (canalele R0...R9)
145,250...145,475 MHz toate modurile de lucru
145,300 MHz radiotelex (trafic local)
145,500 MHz frecvență internațională de apel, canalul S20, stații mobile
145,500...145,575 MHz canale simplex (S20...S23), numai emisiuni cu modulație de frecvență
145,600...145,825 MHz frecvențe de ieșire ale releelor de pe canalele RO...R9 (modulație de frecvență)
145,800...146,000 MHz transmisii radio sateliți și spațiale

Planul benzii de 70 cm (430...440 MHz)

430...431,000 MHz telefonie
431,000...431500 MHz frecvențe de intrare ale releelor cu modulație în frecvență (canalele R68...R88)
431,525...430,000 MHz toate modurile de lucru
432,000...432,150 telegrafie
432,000...432,010 MHz trafic pămînt-lună-pămînt
432,050 MHz frecvență de apel telegrafic
432,100 MHz legături prin reflexie meteoritică
432,150 MHz trafic satelitar, legătura ascendentă
432,150...432,500 MHz telefonie (numai BLU)
432,200 MHz legături BLU prin reflexie meteoritică
432,300 MHz frecvență de apel BLU
432,500...433.000 MHz toate modurile de lucru
432,500 MHz frecvență de apel televiziune cu baleiaj lent
432,525...432,575 MHz transpontor 1 296/432 MHz legătura ascendentă
432,600 MHz canal simplex radiotelex pentru traficul DX
432,650...432,675 MHz transmisii de date și radiopachet
432,700 MHz frecvență de apel facsimil
432,900 MHz radiobalize DX de mare putere (frecvența centrală)
433,000...433,225 MHz frecvențe de intrare ale releelor de emisiuni

cu modulație de frecvență (canalele RU0...RU9).
433,250 MHz frecvență purtătoare sunet televiziune de amator (sistemul de 6MHz)
433,300 MHZ canal simplex, emisiuni cu modulație de frecvență și radiotelex, trafic local
433,400...433,475 canale simplex, numai emisiuni cu modulație de frecvență (SU 16...SU 23)
433,500 MHz frecvență internațională de apel, canalul SU 20 (numai modulație de frecvență), stații mobile
433,550 MHz frecvență internațională de lucru, canalul SU 22 (numai modulație de frecvență), stații mobile
433,750 MHz frecvență purtătoare sunet televiziune de amator (sistemul de 5,5, MHz)
434,250 MHz frecvență purtătoare imagine, televiziune de amatori (în DL)
434,600...434,825 MHz frecvențe de ieșire ale releelor de emisiuni cu modulație de frecvență (canalele RU0...RU9)
435,000...438,000 MHz trafic radio prin sateliți
439,250 MHz frecvență purtătoare imagine televiziune de amator (purtătoare atenuată)
439,250 MHz frecvență purtătoare sunet, televiziune de amator (în DL)

Planul benzii de 23 de centimetri (1240...8...1300 MHz)

(în țara noastră 1250...13000 MHz)
1250,000...1260,000 MHz frecvențe de intrare pentru relee de televiziune de amator
1252,500 MHz idem, purtătoare imagine
1258,000 MHz idem, purtătoare sunet
1260,150...1261.350 MHz frecvențe de ieșiri relee pentru emisiuni cu modulație de frecvență (canalele R20...R36)
1260,000...1270,000 MHz trafic radio prin sateliți
1261,500...1283,000 MHz moduri de lucru pe bandă largă
1283,000...1293,000 MHz frecvențe de ieșiri pentru relee de televiziune de amator
1285,500 MHz frecvență de ieșire pentru relee de televiziune de amator (purtătoare imagine)
1291,000 MHz idem, purtătoare sunet
1293,150...1294,000 MHz frecvențe de intrare pentru relee de modulație de frecvență (canalele R20...R 36)
1294,500...1296,000 MHz canale simplex modulație de frecvență (canalele S28...S58)
1296,000...1296,150 MHz telegrafie
1296,000...1296,010 MHz trafic pămînt-lună-pămînt
1296,000 MHz frecvență de apel, telegrafie
1296,150...1296,300 MHz BLU
1296,300 MH frecvență de apel BLU
1296,150...1296,500 MHz telefonie și telegafie
1 296,500 MHz frecventă de apel televiziune cu baleiaj lent
1296.600 MHz frecvență de apel radiotelex
1296,700 MHz frecvență de apel facsimil
1296,800 MHz...1297,000 MHz balize DX de mare putere
1297,300 MHz canal simple, radiotelex

Planul benzii de 12 centimetri (2300...2450 MHz)

230,000...2320,150 MHz telegrafie
2320,000...2320,010 MHz trafic pămînt-lună-pămînt
2320,050 MHz frecvență de apel telegrafie
2320,150...2320,500 MHz BLU
2320,200 MHz frecvență de apel BLU
2320,350...2320,400 MHz frecvențe de intrare pentru repetori liniari
2320,500 MHz frecvență de apel televiziune cu baleiaj lent
2320,600 MHz frecvență de apel radiotelex
2320,700 MHz frecvență de apel facsimil
2320,800...2321,000 balize DX de mare putere
2321,150...2321,400 MHz canale simplex pentru emisiuni cu modulație de frecvență
2303,925...2348,926 MHz frecvențe releu pentru emisiuni cu modulație de frecvență (în DL)
2400,000...2450,000 MHz trafic prin sateliți

ANEXA 11

Transformarea frecvențelor lungimii de undă

kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m
240 000	1,25	18 800	15,975	15 300	19,608	11 900	25,210	8 400	35,714
120 000	2,5	18 700	16,043	15 200	19,737	11 800	25,424	8 300	36,145
60 000	5,0	18 600	16,129	15 100	19,867	11 700	25,641	8 200	36,585
40 000	7,5	18 500	16,216			11 600	25,862	8 100	37,037
30 000	10,0	18 400	16,304	15 000	20,000	11 500	26,087		
29 500	10,17	18 300	16,393	14 900	20,134	11 400	26,316	8 000	37,500
29 000	10,34	18 200	16,483	14 800	20,270	11 300	26,549	7 900	37,975
28 500	10,51	18 100	16,574	14 700	20,408	11 200	26,786	7 800	38,461
28 000	10,71			14 600	20,548	11 100	27,027	7 700	38,961
27 500	10,91	18 000	16,667	14 500	20,690			7 600	39,474
27 000	11,11	17 900	16,760	14 400	20,833	11 000	27,273	7 500	40,000
26 500	11,32	17 800	16,854	14 300	20,979	10 900	27,523	7 400	40,540
26 500	11,54	17 700	16,949	14 200	21,127	10 800	27,778	7 300	41,096
25 000	11,76	17 600	17,045	14 100	21,276	10 700	28,037	7 220	41,667
25 000	12,00	17 500	17,143			10 600	28,302	7 100	42,254
24 500	12,24	17 400	17,242	14 000	21,428	10 500	28,521		
24 000	12,50	17 300	17,341	13 900	21,583	10 400	28,846	7 000	42,857
23 500	12,77	17 200	17,442	13 800	21,739	10 300	29,126	6 900	43,478
23 000	13,04	17 100	17,544	13 700	21,898	10 200	29,412	6 800	44,118
22 500	13,33			13 600	22,059	10 100	29,703	6 700	44,777
22 000	13,63	17 000	17,647	13 500	22,222			6 600	45,455
21 500	13,97	16 900	17,751	13 400	22,388	10 000	30,000	6 500	46,154
21 000	14,28	16 800	17,857	13 300	22,556	9 900	30,303	6 400	46,874
20 500	14,63	16 700	17,964	12 200	22,727	9 800	30,612	6 300	47,619
		16 600	18,072	13 100	22,901	9 700	30,928	6 200	48,387
20 000	15,000	16 500	18,182			9 600	31.250	6 100	49,180
19 900	15,075	16 400	18,293	13 000	23,077	9 500	31,579		
19 800	15,151	16 300	18,405	12 900	23,256	9 400	31,915	6 000	50,000
19 700	15.228	16 200	18,519	12 800	23,437	9 300	32,258	5 900	50,847
19 600	15,306	16 100	18,633	12 700	23,622	9 200	32,608	5 800	51,724
19 500	15,385			12 600	23,810	9 100	32,967	5 700	52,631
19 400	15,464	16 000	18,750	12 600	23,810			5 600	53,571
19 300	15,544	15 900	18,868	12 500	24,000	9 000	33,333	5 500	54,545
19 200	15,625	15 800	18,987	12 400	24,193	8 900	33,708	5 400	55,555
19 100	15,707	15 700	19,108	12 300	24,390	8 800	34,091	5 300	56,604
		15 600	19,231	12 200	24,590	8 700	34,483	5 200	57,692
19 000	15,789	15 500	19,355	12 100	24,793	8 600	34,884	5 100	58,824
18 900	15,873	15 400	19,480			8 500	35,294		
				12 000	25,000			5 000	60,000

kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m	kHz	m
4 900	61,224	3 200	93,750	1 500	200,00	1 330	225,56	1 160	258,62
4 800	62,500	3 100	96,774	1 490	201,34	1 320	227,27	1 150	260,87
4 700	63,830	3 000	100,00	1 480	202,70	1 310	229,01	1 140	263,16
4 600	65,217	2 900	103,45	1 470	204,08	1 300	230,77	1 130	265,49
4 500	66,667	2 800	107,14	1 460	205,48	1 290	232,56	1 120	267,86
4 400	68,182	2 700	111,11	1 450	206,90	1 280	234,38	1 110	270,27
4 300	69,767	2 600	115,38	1 440	208,33	1 270	236,22	1 100	272,73
4 200	71,429	2 500	120,00	1 430	209,79	1 260	238,10	1 090	275,23
4 100	73,171	2 400	125,00	1 420	211,27	1 250	240,00	1 080	277,78
4 000	75,000	2 300	130,43	1 410	212,27	1 240	241,93	1 070	280,37
3 900	76,923	2 200	136,36	1 400	214,28	1 230	243,90	1 060	283,02
3 800	78,947	2 100	142,65	1 390	215,83	1 220	245,90	1 050	285,71
3 700	81,080	2 000	150,00	1 380	217,39	1 210	247,93	1 040	288,46
3 600	83,333	1 900	157,89	1 370	218,98	1 200	250,00	1 030	291,26
3 500	85,714	1 800	166,67	1 360	220,59	1 190	252,10	1 020	294,13
3 400	88,235	1 700	176,47	1 350	222,22	1 180	254,24	1 010	297,03
3 300	90,909	1 600	187,50	1 340	223,88	1 170	256,41	1 000	300,00

Bibliografie

1. **Benkovskii, Lipinski** — *Liubitelnie antenni karotkih i ultrakarotkih voln*, Moskva Radioisviazi 1983
2. **Brown, C.** — *Tranzistoare — Întrebări și răspunsuri*, Editura Tehnică, 1977
3. **Drăgulănescu N.** — *Agenda radioelectronistului*, Ed. Tehnică, 1983
4. **Gray Paul, Pearl C.** — *Bazele electronicii moderne* Ed. Tehnică, 1973
5. **Ibbotson L.** — *Telecomunicații. Întrebări și răspunsuri*, Ed. Tehnică 1978
6. **Model** — *Radioperedaiușcie ustroistva*, Moskva, Radioisviazi 1971
7. **Mihăescu I.** — *Radioamatorism in UUS* Scrisul Românesc 1987
8. **Nicolau E.** (colectiv) — *Manualul inginerului electronist*, Radiotehnică Editura Tehnică 1988
9. **Patras N.** — *Etaje de detecție*, Editura Tehnică 1970
10. **Ristea** (colectiv) — *Manualul electronistului* Ed. Tehnică 1980
11. **Rothammel K.** — *Antennen buch*, VEB Militärverlag Berlin 1984
12. **Remete I.** — *Antene pentru radioamatori* Ed. Tehnică 1979
13. **Spindler E.** — *Antennen* — VEB Verlag Technik, Berlin 1981
14. **Stănciulescu Gh.** — *Manualul radioamatorului* 1982
15. **Shakhgildyan** — *Radio Transmiters*, Mir Publishers Moscow 1981
16. **Tancu M., Vodrașcu** — *Manualul radioamatorului începător* 1971
17. **Vătășescu** (colectiv) — *Circuite integrate liniare* vol. 1, Ed. Tehnică 1979
18. **Zamfirescu D.** — *Emițătoare de mică putere pentru radioamatori* Ed. Tehnică
19. **Keneth Davies** — *Ionosferic Radio Propagation* 1965 National Bureau of Standards Monagraph
20. **Iosif I.M. Gama V.** — *Radiofonie pentru tineret* Ed. Militară 1986
21. Colectiv — *Radioreceptia de la A la Z*, Albatros 1982
22. Colectiv — *Practica radioelectronistului amator* Albatros 1983
23. A.R.R.L. — *The Radioamateur's Handbook* 1984. 11. Edition. Newington C.T. U.S.A.
24. **I.M. Iosif** — *Vademecum pentru radioamatori* — Ed. Sport Turism, București 1988

$\log_a x = \frac{\ln x}{\ln a}, x>0$

dublare 2·C f scade cu 29,3 %
triplare 3·C f scade cu 42,3 % K=1,172
4·C f scade cu 50 %